VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



Д. К. ЧЕРНОВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ

Под редакцией
академика В. Д. САДОВСКОГО

Составитель
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1983

Д. К. ЧЕРНОВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ





ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1983

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком *С. И. Вавиловым*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. Е. Дзялошинский (заместитель председателя),
А. Ю. Ишлинский, *П. Л. Капица* (председатель), *С. П. Капица*,
Б. М. Кедров, *И. Л. Кнунянц*, *А. Н. Колмогоров*, *С. Р. Микулинский*,
А. А. Михайлов, *Л. С. Полак*, *Я. А. Смородинский*,
В. А. Энгельгардт, *А. Л. Яншин*

УДК 669

В книгу вошли избранные работы выдающегося ученого-металлурга Д. К. Чернова, снискавшие автору всемирную известность. В классических исследованиях русского ученого были сформулированы основные положения, касающиеся производства чугуна и стали, строения стального слитка, механической и тепловой (термической) обработки стали.

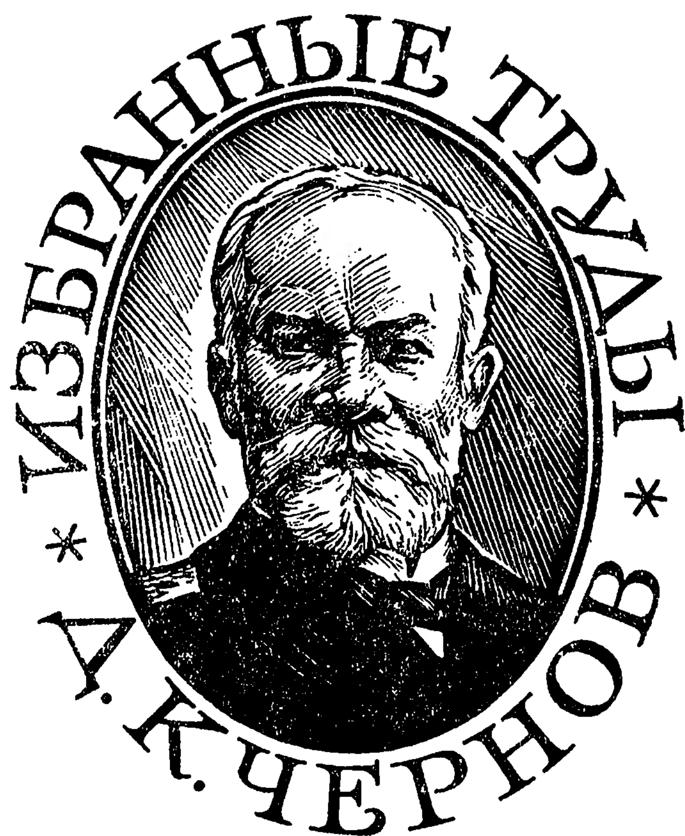
В книге помещены очерк жизни и творчества Д. К. Чернова, библиография его научных трудов, а также книг и статей, посвященных деятельности этого ученого.

Издание предназначено для научных работников — металлургов и металловедов, инженеров и техников металлургических и машиностроительных заводов, преподавателей и студентов технических вузов.

Ил. 221. Табл. 26. Библиогр. 150 назв.

Ч $\frac{2704030000\text{-}022}{055\ (02)\text{-}83}$ 810-82, кн. 2.

© Издательство «Наука», 1983 г.


ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
Д. К. ЧЕРНОВ

ОТ РЕДАКЦИИ

Дмитрий Константинович Чернов — выдающийся русский металлург и металловед. Его научные труды посвящены совершенствованию процессов выплавки, тепловой и механической обработки чугуна и стали. Основные работы Д. К. Чернова, прежде чем выйти в свет в напечатанном виде, докладывались им на заседаниях Русского технического и Русского металлургического обществ, а также были прочитаны как доклады и лекции на собраниях специалистов по металлургии и металлообработке и в аудиториях Михайловской артиллерийской академии в Петербурге, профессором которой ученый состоял с 1889 г. до последних дней жизни.

Основные работы Д. К. Чернова публиковались в «Записках имп. Русского технического общества» и «Журнале Русского металлургического общества». В 1915 г., в связи с 75-летием Д. К. Чернова, «Журнал Русского металлургического общества» опубликовал повторно важнейшие работы ученого. Ряд трудов Д. К. Чернова, не издававшихся ранее, впервые увидел свет уже после его смерти в сборнике «Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка» [Пг., 1923].

В 1950 г. одновременно были изданы две книги, содержащие основные труды Д. К. Чернова в несколько сокращенном виде.

В предлагаемую вниманию читателя книгу «Д. К. Чернов. Избранные труды по металловедению и металлургии» (серия «Классики науки») включены основные работы ученого. Публикуемые труды в соответствии с их тематикой сгруппированы по трем разделам. В первый раздел вошли работы Д. К. Чернова по вопросам металловедения и термической обработки металлов. Второй раздел составляют труды по металлургии чугуна и стали. Третий, заключительный раздел содержит лекции Д. К. Чернова по курсу «Сталелитейное дело», прочитанные им в Михайловской артиллерийской академии в Петербурге и вышедшие в 1898 г. литографированным изданием.

В большей своей части труды Д. К. Чернова публикуются по их последнему изданию, выпущенному при жизни автора, т. е. по уже упомянутому «Журналу Русского металлургического общества» [№ 1, 1915]. Эти труды содержат дополнения и примечания Д. К. Чернова, сделанные им в 1914 г.

Работы Д. К. Чернова последнего периода его жизни взяты из сборника «Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка» (1923).

Курс лекций «Сталелитейное дело» публиковался литографированными изданиями дважды: в 1898 г. и в 1906 г. весьма небольшими тиражами. При этом второе издание было выпущено в несколько сокращенном виде. В настоящее время эти издания, по-видимому, не сохранились. Курс

«Сталелитейное дело» печатается по книге «Д. К. Чернов и наука о металлах» [М.; Л., 1950], где он, как указывает составитель книги профессор Г. З. Нессельштраус, помещен «с небольшими сокращениями текста и рисунков и с некоторыми позднейшими добавлениями и вставками Д. К. Чернова». По-видимому, Нессельштраус располагал экземпляром лекций, в свое время просмотренным Черновым.

В настоящем издании допущена лишь необходимая модернизация орфографии, пунктуации и сокращений, унифицированы библиографические сноски. Вставки от редакции даны в скобках < >. В публикуемых трудах полностью сохранена терминология автора, хотя некоторые технические термины, которыми пользовался Д. К. Чернов, отличаются от ныне принятых. Таковы, например, термины: «газовик» — газогенератор, заводские «произведения» — изделия, «жилистое» строение стали — волокнистое, «углеродная окись» — окись углерода, «разрывное сечение» — поперечное сечение, «болванка» — слиток, заготовка, поковка.

Следует обратить внимание, что в ряде трудов Д. К. Чернова, особенно в курсе лекций «Сталелитейное дело», часто встречаются выражения «в настоящее время», «ныне», «теперь», «недавно» и т. п. Естественно, они относятся ко времени первого издания этих работ.

Труды Д. К. Чернова сопровождаются примечаниями. По сравнению с примечаниями Г. З. Нессельштрауса, помещенными в книге «Д. К. Чернов и наука о металлах», примечания в настоящем томе сделаны более подробными. Они содержат сведения по истории возникновения каждой отдельной работы, ее последующих публикациях. В примечаниях даны краткие справки о наиболее крупных деятелях науки и техники, на труды которых ссылался Д. К. Чернов, оговариваются некоторые спорные положения. В необходимых случаях сообщается современное состояние технических проблем, излагаемых в работах Д. К. Чернова.

В настоящем издании приводится библиография трудов Д. К. Чернова и литературы, посвященной его жизни и творчеству, изданной до революции и в послеоктябрьский период.

В основу библиографии положены список работ, составленный библиографическим отделом библиотеки Министерства высшего и среднего специального образования СССР, помещенный в книге «Дмитрий Константинович Чернов. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов» [М., 1950, с. 346—349], а также библиография трудов Д. К. Чернова и литература о нем, напечатанная в «Трудах по истории техники» [вып. 2. М., 1953, с. 94—109].

В список работ о Д. К. Чернове, вошедших в настоящий том, добавлены публикации, не упомянутые в обоих вышеуказанных источниках, а также относящиеся к трем последним десятилетиям.

В работах Д. К. Чернова сохранены календарные даты по старому стилю, как в первоисточниках.

Ссылки на примечания составителя в тексте работ Д. К. Чернова обозначены цифрами со звездочкой.



ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ
ЧЕРНОВ
(1839—1921)

I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

1 [1*]

КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СТАТЕЙ гг. ЛАВРОВА И КАЛАКУЦКОГО О СТАЛИ И СТАЛЬНЫХ ОРУДИЯХ И СОБСТВЕННЫЕ Д. К. ЧЕРНОВА ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭТОМУ ЖЕ ПРЕДМЕТУ [1]

Приготовление стальных орудий началось в России какие-нибудь десять лет тому назад; оно не было результатом развития у нас сталелитейного дела, введенного до того времени едва ли не единственно в Златоустовском заводе, да и то в весьма ограниченных размерах, но оно было вызвано потребностью — во что бы то ни стало — приготовлять у себя стальные орудия. Таким образом, при недостатке собственной опытности, введение этого дела могло быть облегчено заимствованием сведений от наших западных соседей; но и тут оказалось много препятствий: сталелитейное дело в таких широких размерах, каких требует приготовление стальных орудий, было введено только у известного прусского фабриканта Круппа и по недоступности его фабрики для посетителей оставалось для всех других секретом. Понятно, что нам тяжело было при таких условиях сразу поставить у себя это дело на прочную ногу, нам нужно было до всего добиться самим, а потому всякое слово, проливающее хоть частицу света на занимающий нас вопрос, каждая капля, вносимая в общий улей, должны быть для нас дороги. С этой точки зрения труды гг. Лаврова и Калакуцкого [2], не имея ничего себе подобного не только в русской, но и в иностранной литературе, заслуживают с нашей стороны полной признательности к их авторам, и если я взял на себя смелость представить вам, мм. гг., краткий критический разбор их статей, то сделал это скорее из желания обратить на них несколько большее внимание, так как наша периодическая литература обошла их полным молчанием.

Что касается самого разбора, то я главным образом постараюсь познакомить вас, мм. гг., с содержанием этих статей и отнесусь критически только к тем выводам, которые сделаны авторами на основании недостаточного числа наблюдений и которые потому подлежат еще сомнению и проверке.

I.

Статьи г. Лаврова [2*] посвящены исследованию явлений, сопровождающих приготовление больших литых болванок из стали; выводы из этого

---

[1] Из «Зап‹исок› и‹мп›. Русск‹ого› техн‹ического› о‹бщест›ва», 1868 г., июль, с. 399—440. — Беседы 20 апр., 4 и 11 мая.

[2] Статьи г. Лаврова помещены в «Артиллерийском журнале» 1866 г. в № 10, 11, а г. Калакуцкого — в том же журнале в № 5, 7, 9 и 10 за 1867 г.

исследования приложены к объяснению причин тех пороков в пушечных болванках, которые производили громадный брак орудий на Златоустовской фабрике, и затем указаны меры, какими можно было устранить пороки и таким образом подвинуть вперед сталепушечное дело. В обработку литых болванок (ковку) г. Лавров не вдается, потому что обстоятельства не позволили ему докончить начатых работ; но зато статьи г. Калакуцкого [3*], составляющие как бы продолжение труда г. Лаврова, дают нам подробные сведения о дальнейшей обработке литых болванок, так что оба труда вместе представляют полную картину сталепушечного производства.

Так как большая часть выводов сделана авторами на основании цифр, полученных ими при определении удельного веса образцов стали и частью при определении химического их состава, то желательно было бы возможно подробное описание этих работ, чтобы видеть, насколько можно доверять этим цифрам. К сожалению, авторы не указали одного из самых существенных обстоятельств, именно степени чувствительности употребленных ими весов, что при таких небольших образцах, какие они испытывали, от 10 до 15 *г*, имеет особенную важность. Впрочем, значительная доля погрешностей устраняется ими тем, что для большей части общих выводов брались в расчет только средние числа из многих наблюдений.

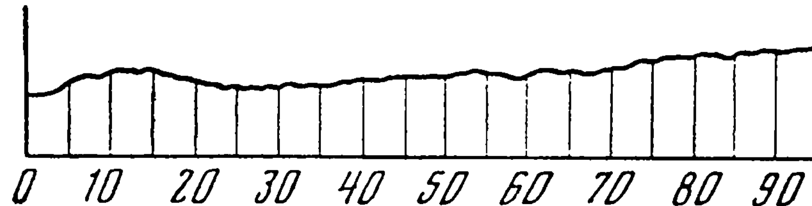
Работа определения удельного веса описана г. Лавровым следующим образом: «Отобранные наиболее крупные частицы — стружки кипятил я сначала в растворе едкого кали; при самом же определении употреблял небольшой стеклянный сосуд, который, будучи наполнен стружкою, подвешивался на волоске; при взвешивании в воде наполнял сосуд водою, кипятил эту воду для удаления пузырьков воздуха, охлаждал сосуд льдом или снегом до 4 °Ц и погружая его затем в воду той же температуры, также прокипяченную; поправки относительно взвешивания в воздухе делано не было».

Исследования свои г. Лавров начинает с указания на неодинаковость плотности стали в различных пушках, даже в тех случаях, когда условия приготовления их, как то: шихта, обстоятельства плавки и литья, были совершенно одинаковы. Приведенная им таблица нескольких рядов чисел удельного веса стружек, взятых из каналов разных пушек, действительно показывает, что не только числа различных рядов разнятся между собою, но и в одном и том же ряду между числами, принадлежащими одному и тому же орудию, существуют весьма заметные колебания и, во-вторых, что удельный вес в канале орудия почти никогда не достигает предела уплотнения пушечной стали.

№ орудия	Дульный срез		Цапфы										Казенный срез	
	10″	15″	20″	35″	40″	45″	50″	55″	60″	65″	70″	75″	80″	90″
162	—	—	7,794	—	—	7,808	7,789	7,808	7,809	7,811	—	7,826	7,800	—
181	7,811	7,810	7,762	7,802	7,806	7,815	—	7,822	7,833	7,829	7,840	—	—	7,853

Для примера возьмем два ряда для 12-фунтовых орудий № 162 и 181.

Сравнивая условия приготовления этих двух, более других исследованных, орудий, автор находит почти исключительно различие в степени нагревов при ковке, состав же шихты был один и тот же, условия плавки и литья для обоих орудий были весьма сходны; при этом больший удельный вес приходится на долю орудия, кованного при высоких нагревах. Заметив также, что пушка № 181 была кована при сравнительно высоких нагревах против других, приведенных в таблице орудий, автор выводит заключение, что *плотность в болванке возрастает с увеличением температуры при ковке*. (Этим и оканчивает он исследование о влиянии нагрева при ковке, дальнейшие подробности в этом отношении находятся у г. Калакуцкого.)



Фиг. 1

Объяснив этим обстоятельством различие отдельных рядов, автор переходит к объяснению колебаний каждого ряда; так как эти колебания замечены во всех орудиях, независимо от способа их обработки, то он обращается к исследованию другой причины, именно к влиянию условий отвердевания жидкого металла в изложнице, после литья. Что касается вида этих колебаний, то, из большого числа определений удельного веса стружек, автор нашел в них некоторую последовательность. Плотность металла близ дульного среза весьма невелика, затем она возрастает и в расстоянии около 15″ от дульного среза (для 12-ф‹унтовой› пушки) достигает известной наибольшей величины, после чего опять быстро падает и с этой точки уже медленно и довольно правильно увеличивается до самого конца казенной части. Закон этот автор выражает кривою линией, абсциссами которой служат расстояния от дульного среза, а ординатами — соответствующие величины удельного веса; таким образом получается кривая, представленная на фиг. 1. Автор указывает на сходство этой кривой с очертанием дульных частей болванок после первого обжима их под молотом при одинаковых ударах и отсюда выводит, что совпадение это показывает, что различие плотностей в сечениях орудия существовало прежде ковки и именно произошло вследствие известных законов отвердевания жидкой массы, вылитой в изложницу.

«Всякая болванка, получаемая при отливке жидкой стали в форму или изложницу, никогда не выходит совершенно плотной, но бывает более или менее прорезана пустотами, которые остаются в болванке от двух причин: 1) от усадки и 2) от выделения газов, поглощенных металлом во время его плавки».

Для большей ясности автор разделяет это одновременное образование пустот на два отдельных случая: сначала рассматривает образование пустот в литой болванке, без участия газов, т. е. когда пустоты образуются только от одной усадки металла.

Пустоты образуются в тех местах, которые остыли последними, отсюда видно влияние формы изложницы на расположение этих раковин. В цилиндре усадка идет по оси, выше или ниже, — все зависит от ускорения

или замедления охлаждения сверху. Повышение усадочных раковин в массивных чугунных предметах совершается помощью доливки; если же, например, сверху положить холодную пробку, как при отливке стали, то раковины понижаются тем больше, чем сильнее охлаждающее влияние пробки.

Принимая во внимание форму орудийных болванок, какая им дается на Златоустовской фабрике, усадочные раковины должны быть низко и в особенности от употребления там после литья холодной пробки, причем *наибольшие* пустоты расположатся в верхних частях группы усадочных раковин. Для ясности автор представляет идеальный разрез литой болванки и на нем объясняет последовательное застывание стали в изложнице; но при этом, к сожалению, упущено из виду влияние толщины ее стенок. Затем автор рассматривает газовые пустоты, сделав оговорку, что поглощение газов сталью — факт, уже давно доказанный, но что природа их, равно как и условия, при которых происходит самое их поглощение, до сих пор мало исследованы, — он указывает на статью Сизанкура «Сталь», где можно найти наиболее полные данные по этому предмету. Опираясь же на собственные наблюдения, сделанные на Златоустовской фабрике, он рассматривает этот вопрос с несколько большей полнотой.

Автор начинает с опровержения будто бы довольно распространенного мнения, что сталь поглощает или увлекает газы *только при падении струи металла* в форму, во время литья; но мне кажется, не стоило упоминать об этом мнении, как вовсе не заслуживающем опровержения.

По замечанию г. Лаврова, жидкий металл, наполняющий тигли, вынутые из плавильных горнов, во время остывания своего в тех же тиглях всегда выделял обильные струйки газов, а это обстоятельство в глазах автора не оставляет никакого сомнения в том, что поглощение газов совершается во время плавки в горну, несмотря на то что операция ведется в тиглях, закрытых довольно плотно. Автор между прочим говорит, что наблюдения свои он делал над сталью, получаемой от сплавления чугуна с железом без присадки магнитного железняка, и что, следовательно, газы должны были проникнуть в тигель из горна, а не могли образоваться внутри тигля от сожигания углерода чугуна на счет кислорода магнитной руды.

Наблюдая остывание в тиглях стали различных сортов, он пришел к результатам, которые, по-видимому, противоречат приведенным Сизанкуром и другими писателями, — именно, что мягкая сталь всегда содержала значительно меньше газов, чем сталь твердая. Противоречие это, по словам автора, исчезнет, если принять в расчет условия, при которых происходит поглощение газов литою сталью: количество растворенных жидким металлом газов пропорционально времени прикосновения его с ними и, по всей вероятности, предел насыщения газами будет зависеть от абсолютной температуры и, еще более, от избытка температуры над температурой плавления металла; в пример последнего приведена постоянно возрастающая способность расплавленного серебра растворять кислород с повышением температуры (до 22 объемов). А так как температура сталеплавильного горна, при плавке на древесном угле, только весьма немногим

превосходит температуру плавления мягкой стали, то эта последняя вынимается из горна, когда металл едва только расплавился и, следовательно: 1) не имел еще времени поглотить значительное количество газов, а 2) вследствие незначительного избытка температуры над температурой своего плавления обладал в слабой степени способностью растворять эти газы; поэтому количество газов, по мнению автора, выделяемых мягкой сталью при остывании, и не может быть велико. Жесткая сталь находится, напротив того, в условиях, гораздо более благоприятных для поглощения газов в горну; ибо самая отливка такой стали производится обыкновенно при довольно значительном избытке температуры над точкой ее плавления, что допускается вследствие меньшей опасности, при жестких сортах, получить *беглый* тигель, или *сутунок*. Этим объясняется то обстоятельство, что сталь, оставленная свободно охлаждаться в горшках, всегда выделяла тем большее количество газов, чем продолжительнее было время ее отвердевания, т. е. чем более она была перегрета.

Если же плавка идет на коксе, то условия будут совсем другие: здесь и мягкой стали можно придать почти такую же подвижность частиц, как и твердой, и тогда количество поглощенных ею газов будет больше; самое выделение их пойдет быстрее и количество отделяющихся искр увеличится вследствие способности мягких сортов переходить перед отвердеванием в тестообразное состояние. Вот почему, говорит автор, все те, которые наблюдали плавку стали на коксе, приходили к тому убеждению, что мягкая сталь будто бы по самой своей природе может поглощать большее количество газов, чем сталь твердая.

В бессемеровской же стали, по мнению автора, явление это выдается рельефнее, так как она находится в жидком состоянии в течение всего хода операции передела, а следовательно, успевает поглотить тем большее количество газов, чем продолжительнее была самая операция, т. е. — чем сталь получалась мягче; кроме того, по мнению автора, вследствие более полного соприкосновения частиц металла с воздухом и образующимися газами и самое количество последних в бессемеровской стали должно быть значительно больше, чем в стали тигельной.

Принимая затем недостаточность сделанных исследований для окончательного разъяснения условий поглощения газов сталью, автор считает, однако, себя вправе заключить: 1) что поглощение газов жидкой сталью совершается преимущественно в самом горне и 2) что количество этих газов не зависит вовсе, или только в весьма слабой степени, от содержания в ней углерода, а скорее обусловливается продолжительностью времени соприкосновения жидкого металла с атмосферой газов, его температурой и, еще более, избытком температуры металла над температурой плавления.

Приравнивая условия выделения газов из стали к условиям самого поглощения их, автор выводит: 1) что выделение газов из жидкого металла, доведенного до некоторого избытка температуры, будет всего сильнее в первые моменты после выливания его в изложницу и 2) что металл при температуре, близкой к его отвердеванию, будет выделять из себя лишь самое ничтожное количество газов.

Приняв за основание эти положения, автор приходит к тем результатам, которые производит выделение газов в массе жидкой стали, влитой в изложницу, и описывает его следующим образом:

«Положим, что в изложницу влита сталь, доведенная до некоторого избытка температуры, и тотчас на ее поверхность наложена холодная чугунная пробка. Выделение газов, наиболее сильное в первый период охлаждения, будет продолжаться во время остывания нескольких идеальных слоев, затем температура понизится настолько, что дальнейшее выделение газов будет уже ничтожно. Пузырьки газов, стремясь подняться из жидкости в первый период охлаждения болванки и встречая на своем пути застывающий тестообразный металл, образовавшийся от охлаждающего влияния пробки, запутываются в этом слое, и верхняя часть слитка будет проникнута пузырями, скопление которых примет почти воронкообразную форму». Образование такой воронки во всякой стальной болванке автор подтверждает несколькими опытами.

Что касается происхождения газов, выделяющихся из жидкой стали, то нельзя не заметить, что состав самой шихты содержит в себе уже достаточно элементов, при взаимной реакции которых должно образоваться значительное количество газов. Если даже исключить магнитный железняк, как это делает г. Лавров, то еще останутся: железные куски, всегда покрытые окалиной и содержащие в себе некоторое количество шлаков; чугун, хотя и рафинированный, но содержащий некоторое количество кремния; если прибавить еще кремнезем самого тигля, то мы получим все условия для образования окиси углерода внутри тигля.

Что при отливке из стали действительно выделяется окись углерода, с этим согласны почти все (за весьма немногими исключениями), наблюдавшие отливку стали. В пользу того предположения, что газы, отделяющиеся во время отливки, суть продукты химических реакций между шлаками и сталью, можно привести следующие обстоятельства: чем меньше попадает шлаков в изложницу, тем меньше пузырей в отлитой болванке; в тех местах болванки, где на поверхности ее, прилегающей к стенкам, скопляется наибольшее количество шлаковин, там внутри ее и скопляется наибольшее количество пузырей; почти в каждом пузыре, на внутренних стенках его, обыкновенно на стороне, обращенной к центру болванки, можно видеть шлаковое пятно и т. п. Употребление сливного ковша при отливке стальных болванок имеет именно ту цель, чтобы дать время шлакам всплыть на поверхность стали и таким образом по возможности удалить причину выделения газов из стали в изложнице. С другой стороны, обстоятельства, при которых является наименьшее количество пузырей, прямо говорят против поглощения газов расплавленной сталью в горне. Так, если сталь после ее расплавления будет продержана в горне возможно долгое время, насколько позволяют качества тигля, то металл освобождается от шлаков почти совершенно: они всплывают наверх и в застывшем потом слитке пузырей вовсе не будет, если бы даже его быстро охладили. Далее, болванка, отлитая в слишком нагретую изложницу, содержит больше пузырей, нежели отлитая в холодную изложницу.

Если уже допустить поглощение газов сталью во время плавки в горне,

то необходимо принять, что стенки тигля, процеживая сквозь себя печные газы, в то же время разлагают их, пропуская преимущественно окись углерода, не допускают в тигель всех других или, по крайней мере, очень мало. Так, если крышка примазана неплотно и в него могут проникать печные газы, тогда сталь, в особенности при плавке на коксе, получает дурные качества, резко отличающие ее от другой такой же стали, плавленной в том же горне, но в хорошо замазанном тигле.

Определив, таким образом, места наибольшего скопления усадочных и газовых пустот в литых болванках, автор заметил тесную связь между очертанием кривой, полученной по цифрам удельного веса стружек, взятых с различных мест канала готовых орудий, и распределением этих пустот; так что закон, выраженный этой кривой, есть как бы следствие условий отвердевания жидкой стали в изложнице.

Познакомив, таким образом, с общим распределением плотностей внутри орудийных болванок помощью таблиц и кривой и с теми причинами, от которых зависит плотность (сплошность), автор прикладывает полученные результаты к объяснению явлений, замечаемых при сверлении стальных орудий, а именно к вопросу о раковинах и центровых трещинах. Тут же он приводит графические таблицы распределения внутренних раковин и центровых трещин в 12-фунтовой и в 4-фунтовой пушках.

Из обеих таблиц видно, что трещины располагаются в поясах наибольшего развития усадочных раковин в соединении с наименьшим удельным весом; совпадение это было действительно полное. Но приписав причину образования трещин в дульной части скопления усадочных раковин, автор переходит к объяснению того обстоятельства, почему трещины эти никогда не замечались в казенной части, хотя там также скопляется значительное количество центральных усадочных раковин? Для решения этого вопроса автор обращается к исследованию химического состава стали внутри болванки.

Принимая во внимание медленность остывания стали в изложницах и непостоянство состава стали как раствора углерода в железе, он предполагает постепенное выделение более легкоплавких сплавов, более углеродистых, в центральные части слитка (ликвация). Сделанный г. Калакуцким сравнительный анализ стали, затвердевшей в виде корки в тигле и вылитой из ее средины, вполне подтвердил это предположение: в стенках содержание углерода было 0,67%, а в сердцевине 0,8% (шихта состояла из 56 фунтов железа, $13^1/_2$ фунтов отбеленного чугуна и $9^1/_2$ ф‹унтов› магнитного железняка; определение углерода делалось хлористой медью).

Заключая совершенно справедливо, что если уже замечена такая разница в небольшом слитке, требующем для остывания только несколько минут, то, конечно, разность эта должна обнаружиться еще резче, если сделать сравнительный анализ металла, взятого с поверхности и из сердцевины толстой пушечной болванки. Случая такого не представилось автору; сравнивать же химический состав аналогичных мест в прокованной уже болванке (куска с поверхности и стружек из канала) автор считал неуместным, потому что металл подвергался уже окислительному пламени сварочной печи, а следовательно, результаты анализа его могли подать повод предполагать ликвацию, когда ее на самом деле вовсе не было; срав-

нивать же состав стали с поверхности непрокованной болванки с составом стружки [3] из средины прокованной значило бы опять вовлекать себя в ошибку — не открыть ликвации, если бы она и была действительно. А потому он предпочел другой путь: *проверить анализом не самое явление сконцентрирования по оси болванки легкоплавких углеродистых сплавов, а одно из следствий этого явления, аналогичного с подобным же явлением в орудиях из бронзы, а именно разность в химическом составе металла по длине канала орудия.*

Указав на то, что было сказано выше о ликвации при остывании стальных болванок, автор приводит таблицу процентного содержания углерода в стружках, взятых из различных мест канала 12-фунтовых пушек.

№ орудия	Расстояние в дюймах от дульного среза:										
	15	20	30	35	45	50	55	60 цапфы	70	90	100
138	—	—	—	—	0,94	—	—	1,64	—	—	0,62
142	1,3	—	1,11	—	—	—	—	—	—	—	—
162	—	—	—	—	—	1,00	0,96	1,02	—	—	—
181	0,94	1,04	—	0,69	—	—	0,77	0,69	0,66	—	0,59

Не принимая во внимание неправильных колебаний содержания углерода, нужно согласиться, что анализ не только подтверждает ликвацию, но вместе с тем показывает, что легкоплавкие сплавы, более углеродистые, скопляются преимущественно в дульных частях болванок.

Анализ, сделанный над двумя образцами, взятыми из канала 24-ф‹унтовой› пушки, подтверждает то же самое; так, в стружке, взятой с 58 дюйма от дульного среза (на 9″ впереди цапф), углерода 1,36%, а в стружке с 114 дюйма от среза (т. е. близ дна канала) — только 0,74%. Вследствие большей массы этой болванки, конечно, явление должно быть более полное.

В этом месте автор делает следующее замечание, помещенное им в выноске:

«В орудиях малого калибра, а именно в 4-фунтовых пушках, явление, о котором идет речь, должно быть, конечно, значительно слабее; повидимому, условия остывания орудий этого калибра крайне невыгодны, на что указывает неправильная неоднородность металла, почти постоянно замечаемая в канале и даже с поверхности этих орудий. *Матовые ленты, поперечные полосы и пятна на обточенной поверхности встречаются*

[3] При этом нужно заметить, что является опять источник ошибок: легкоплавкие сплавы стали выделяются струями и гнездами, что хорошо видно на изломах толстых болванок, а потому стружка, вынутая сверлом, вообще говоря, состоит из смеси стали различного содержания углерода, — все зависит от того, врезается ли сверло целиком в такое гнездо или захватывает его только отчасти; конечно, грубые ошибки в этом случае исправляются принятием в соображение только средних чисел.

только у этого калибра и как бы напоминают собою не вполне отстоявшуюся жидкость».

Здесь слишком мало обращено внимания на эти весьма важные явления; впрочем, я поговорю об этом в конце моего сообщения.

Прежде перехода к приложению полученных результатов анализа к вопросу о раковинах и трещинах внутри орудийных болванок автор, возвращаясь к последней таблице, объясняет, почему в орудии № 181 оказалось сравнительно с другими (при одинаковой шихте) весьма малое содержание углерода; припоминая при этом, что и *удельный вес* стружек из канала этого орудия был сравнительно с другими больший, он говорит, что особенность эта должна была произойти от более высокой температуры при ковке этой болванки, что действительно и было. Отсюда он выводит, что с *повышением температуры ковки углерод стали сильно выгорает*, даже в *центральных частях болванки* [4]. Для подтверждения же того, что с уменьшением содержания углерода удельный вес стали возрастает, автор произвел сравнительное испытание над 5-ю образцами стали различных номеров: после проковки их, при обстоятельствах, по возможности одинаковых, он определил удельный вес каждого, причем разность цифр для крайних образцов вышла 0,018 (7,840 и 7,858), содержание же углерода разнилось на 1,40% (т. е. 1,75 и 0,35%).

Устранив таким образом сомнение в правильности первых исследований, автор переходит к вопросу о центровых трещинах в канале стальных орудий. Ближайшей причиною этого порока автор считает способ ковки, состоящий в ка́тании болванок легкими ударами (?) при низких нагревах (?) и притом под плоскими бойками; направление трещин показывает, что плоскости слабости (от развивающихся напряжений) совпадают с радиусами болванки. В мягком металле эти напряжения останутся напряжениями, а может быть чрез известный промежуток времени и вовсе уничтожаются; между тем как эти внутренние силы неминуемо повлекут за собою образование лучеобразных трещин в металле твердом, в особенности, когда он переполнен раковинами. Металл этот представляет развившимся напряжениям наименьшее сопротивление, не говоря уже о том, что газы, вероятно, наполняющие собою также усадочные (?) раковины, не находя себе свободного выхода, может быть, в состоянии уже сами по себе произвести разрыв (?) окружающего их металла.

Таким образом, центровые трещины, по заключению автора, служат лучшим доказательством того, что вредные внутренние напряжения, наведенные ковкою, достигли значительного развития или же что металл был настолько слаб, что не мог сопротивляться разрывающему действию этих, хотя и малоразвитых, напряжений; в обоих случаях, говорит автор, негодность орудия не подлежит ни малейшему сомнению.

Трудно согласиться с этим объяснением, хотя оно и кажется правдоподобным; более внимательные наблюдения показывают, что начало центровых трещин лежит во внутренних складках, образуемых ковкою в тех местах, где большое скопление внутренних пустот, расположенных

[4] То же замечено и у Сизанкура (Cizancourt).

по оси болванки, и в этом случае объяснение, данное г. Калакуцким, о котором будет сказано в своем месте, вполне отвечает действительности.

В доказательство существования внутренних напряжений, наведенных ковкою, автор описывает образец металла одного из орудий, кованных на 16 граней (диск, отрезанный от прибыли орудия, перпендикулярно его оси, толщиной 0″,8).

«Несмотря на то что плотность этого образца весьма значительна и сыпь превосходная, нескольких ударов достаточно было, чтобы разделить его на куски, представляющие почти правильные секторы круга, — доказательство, что плоскости слабости совпадали с радиусами этого диска; между тем, чтобы сломать его по всякому другому направлению, нужно сделать первоначально глубокую надсечку зубилом».

Но, мне кажется, причину такого напряжения нужно было бы искать в условиях охлаждения этой болванки после ковки.

Затем автор говорит о раковинах в орудиях и о влиянии их на стойкость последних. Раковины газовые, скопляющиеся в верхней воронке болванки, он оставляет уже в стороне, так как верхний конец составляет прибыль болванки и отрубается от нее под молотом, но обращает внимание только на те пустоты (пузыри), которые производятся газами в других местах, а именно там, где металл внезапно остывает, не успевая выделить тот избыток газов, которым он был насыщен при температуре, значительно превосходящей температуру его плавления.

В орудийных болванках пузыри встречаются в поверхностном слое, прилегающем непосредственно к стенкам изложницы, в особенности же в цапфах и в коническом дне болванки. От этих пузырей происходят иногда глубокие свищи как с поверхности, так и в канале казенной части. Порок этот явился в болванках в таких размерах, что уже сам по себе был причиною значительного брака орудий и заставил Пермскую фабрику принять увеличенный хвост или заднюю прибыль.

Автор в выноске говорит: «Нет сомнения, что появление свищей в казенной части находится в связи с формою дна изложницы» (следствие теории поглощения газов).

Остальные пустоты, встречаемые в канале и в стенках орудий, имеют чисто усадочный характер в некоторых определенных местах (для 4-ф‹унтовых› пушек: 20—30″, а потом 50″ от среза).

Относительно влияния этих раковин на прочность орудия автор выражается так:

«По-видимому, усадочные раковины в канале орудия, если они только не имеют лучей, высверливаются при проходе на первое сверло, должны бы почитаться безвредными. Оно и было бы действительно так, если бы присутствие раковины в канале не служило очень часто указанием на существование в том же поясе орудия — и притом в его стенках — скрытых раковин, так как усадочные раковины резко появляются отдельно, а большею частью составляют целую группу. Вредное влияние последних уже подтверждено разрывом на пробе двух орудий [5], а именно 4-фунтовых

[5] По раковинам ли шел излом и от них ли начался, — не указано.

пушек № 79 и 141. Из этого видно, что забраковка орудий с раковинами, хотя бы и выходящими от первого сверла, как это ныне принято, вполне оправдывается».

Нужно сказать, что в подобных случаях полезно подвергать такие орудия пороховой пробе, так как усадочные раковины встречаются почти во всех болванках, а с другой стороны: испытание на Обуховском заводе продолжительною стрельбою такой 6-дюймовой пушки, в канале которой усадочные раковины в одном месте казны едва вышли от последнего сверла, показывает, что с выходом усадочной раковины удаляется и ее влияние (по крайней мере, видимое) на прочность орудия.

Указав таким образом, что газовые и усадочные раковины, в особенности в связи с образованием центровых трещин, едва ли не составляют одного из самых капитальных недостатков ныне принятых способов литья, автор обращается затем к перечислению тех обстоятельств, которые препятствуют получению хорошего слитка.

1) Сталь перегревается в горну, насыщается избытком газов и прямо, по вынутии (из горна), выливается в изложницу.

2) Недостаток более или менее значительной прибыли, в особенности, что не существует обыкновения доливать ее.

3) Искусственное ускорение охлаждения верхней части болванок наложением холодной пробки и понижение чрез это усадочных раковин на значительную глубину внутрь болванки.

4) Сложная форма изложниц (с утолщением для замочной части и с цапфами) и оттого неправильное распределение пустот, как газовых, так и усадочных.

Устранить неудобства, происходящие от слишком горячего литья, по мнению автора, весьма нетрудно, сделав резервуар или литейный котел, в котором слитая из тиглей сталь теряла бы вредный для дела избыток температуры, а вместе с ним и большую часть газов, и потом уже поступала бы в изложницу.

Что же касается нерациональности условий остывания вылитой массы внутри изложницы, то это обстоятельство было исследовано автором несколько подробнее при помощи описанных вслед за этим опытов, ближайшей целью которых было исследование влияния более или менее быстрого охлаждения верхнего конца слитка на количество и расположение пустот. (Чтобы по возможности приблизиться к условиям остывания больших болванок, автор оставлял остывать сталь в тиглях и тем замедлял охлаждение.)

Вынуты были из горнов 3 тигля, наполненные жидкою пушечною сталью, и после полного охлаждения их на полу фабрики определен был удельный вес (цельным куском) полученных слитков:

№ 1	тигель, покрытый раскаленною крышкою	7,497
№ 2	» открытый	6,968
№ 3	» покрытый холодною чугунною пробкою	6,487

Средний же удельный вес из 7 мест каждого слитка, определенный после разрезки, был почти равен для всех слитков, — колебания были

очень небольшие, только в сотых долях, а именно: для № 1 — 7,8507, № 2 — 7,8404, для № 3 — 7,8430 [6].

Отсюда видно, что разницу в удельном весе слитков нужно отнести единственно только к раковинам, количество которых тем меньше, чем более замедлялось охлаждение верхней части слитка. Для наглядного сравнения как развития раковин, так и их сравнительного понижения от усиления охлаждения верхней части слитка автор приложил снимки с продольных разрезов слитков.

Результаты приведенных опытов навели автора на мысль сделать пробную отливку небольшой болванки (пудов в шесть) в чугунную изложницу, замедлив охлаждение верхней части слитка сильным нагревом верхней части изложницы и наложением на края ее, по окончании литья, раскаленной чугунной крышки, кроме того, — усилить охлаждение нижней части изложницы водой.

После описания автором прибора, придуманного для этого опыта, говорится, однако, что опыта произвести было нельзя по некоторым препятствиям: но описан, между прочим, предварительный опыт отливки в $1^1/_2$-пудовую изложницу, с погружением сейчас же в воду для удостоверения, что чугунная изложница не лопнет. Слиток этот, сравнительно с другими, отлитыми в ту же изложницу обыкновенным способом, отличается значительно большим удельным весом — в 7,475, тогда как обыкновенный слиток имеет его в 7,059.

Нужно заметить, что предлагаемый г. Лавровым способ охлаждения нижней части изложницы погружением ее в воду сейчас же после отливки в нее стали представляет весьма важные неудобства; не говоря уже о том, что изложница при этом может лопнуть, от пролития жидкой стали в воду произойдет тогда ужасный взрыв. Самое выполнение этой операции едва ли даже возможно при больших пушечных болванках. Мне кажется, что та же цель проще и вернее может быть достигнута утолщением дна изложницы и постепенным утончением боковых ее стенок по направлению от низу к верху.

---

[6] Здесь я не могу не отметить следующие слова автора, помещенные им в выноске, я их привожу буквально: «Замечательно, что абсолютный удельный вес непрокованной стали нисколько не ниже, чем в прокованных образцах того же номера, из чего прямо следует, что значение ковки заключается лишь в *изменении сложения металла из зернистого, или кристаллического, в жилистое*. Далее, если предположить, что плотность металла в непрокованных массивных предметах, каковы, например, пушечные болванки, также велика, как и в исследованных мною небольших слитках, то незначительный удельный вес некоторых образцов, взятых из канала орудий при сверлении, указывает, что в этих местах ковка натянула, разделила металл и *принесла только один вред*. Опыт не расходится с этим взглядом, а, напротив, подтверждает, что орудия с большим удельным весом металла центральных частей, но кристаллического сложения, равно как и с прекрасным жилистым сложением, но малым удельным весом, оказываются положительно непрочными и разрываются после небольшого числа выстрелов». Относительно верности самих фактов я могу только сказать, что при своих наблюдениях встретил то же самое; что же касается до заключений, выраженных подчеркнутыми словами, то прошу сличить их с теми, которые я приведу в конце моего сообщения.

II.

Г. Калакуцкий начинает статью рассмотрением условия отливки и остывания болванок в изложницах, причем прямо указывает на роль хода остывания и выделения газов в образовании внутренних пустот, описывая разрез эллиптической пушечной болванки. В общем, взгляд г. Калакуцкого один и тот же, что и у г. Лаврова, только в частностях нельзя не заметить некоторых особенностей; так, например, г. Калакуцкий останавливается на значении формы очертания дна изложницы и говорит, что, при конической его форме, в соответствующем ему конусе (дне) болванки образуется самостоятельная замкнутая усадка (?!) — объяснений этого явления я не мог понять.

Так же как и г. Лавров, он говорит о доливании прибыли. Приводя мнение Маллета о внутренних натяжениях при остывании, он прибавляет от себя, *что всякий вновь застывающий слой пристает к слою, несколько охладившемуся, а оттого между ними после окончательного их охлаждения* д о о д н о й о б щ е й т е м п е р а т у р ы *являются внутренние натяжения, в силу которых внутренние слои болванки будут растянуты действием наружных слоев* (?).

У автора описаны наблюдения над остыванием трех различных сортов стали в тиглях, причем указано характеристическое явление — выбрасывание искр и как бы дыхание тигля при конце отвердевания стали, т. е. движение внутреннего жидкого столба вверх и вниз от выделения газов, и в связи с этим явлением объяснено происхождение пузыристой воронки в болванках.

Что же касается до того, происходят ли газы от действия углерода стали на тело, растворенное в ней, или они проникают в нее из атмосферы топки, и в этом случае остаются ли они в своем первоначальном виде в момент их поглощения расплавленным металлом? когда они выделяются? каким образом можно устранить вред, ими производимый? и т. д., то автор рекомендует читателю, с одной стороны, обратиться к статье Сизанкура, где он найдет некоторые гипотезы относительно этих вопросов, с другой же стороны, он приводит выводы Карона[4*] из его исследований по этому предмету:

1) что сталь выделяет газы в момент своего отвердевания или пускания рожков точно так же, как медь, серебро, платина и пр. (автор, впрочем, не вполне разделяет это мнение; он говорит, что газы выделяются из стали постоянно — после вынутия из горна и что только они более заметны в момент образования ростков от выбрасывания в это время искр);

2) что газы образуются от двух причин: от действия углерода стали на окись железа, происходящую от окисляющей атмосферы топки, и от разложения углеродом стали кремнекислых солей железа, происходящих от соприкосновения расплавленной массы с кремнеземом тиглей. В заключение своей записки Карон высказывает гипотезу, посредством которой объясняет то, что происходит при вырастании стали. Он говорит, что все углеродистые соединения, которые могут содержать в растворе окись железа, заключают в себе при остывании тем более газовых пузырьков, чем точка

их плавления по температуре ближе к той, при которой происходит реакция между окисью и углеродом, потому что газы будут иметь тем менее времени для своего отделения.

Упомянув при этом о предложении Карона плавить сталь в известковых или магнезиальных тиглях и показав влияние состава тигля на получаемую сталь (описаны 3 опыта плавки стали в тиглях из различной массы), причем иногда более мягкая шихта дает более твердую сталь, автор переходит к исследованию той же болванки и именно к рассмотрению строения ее металла. Этого нет в статье г. Лаврова, а потому я остановлюсь несколько долее на этом месте. Строение металла в литых болванках автор описывает след<ующим> образом.

«На верхней части болванки металл мелкопластинчатый, напоминающий по своему виду излом сурьмы; точно такое же сложение он имеет вдоль боковых поверхностей болванки. Мелкопластинчатое сложение верхних слоев постепенно переходит в более крупное в средней части и в сильнопластинчатое в нижней части слитка. Сравнивая металл с боковых поверхностей со слоями, расположенными по оси болванки (в одних и тех же сечениях), мы находим тоже крайне постепенное увеличение крупности зерен к центру слитка».

Далее автор замечает, что около стенок газовых пустот кристаллы развиваются свободнее, и потому он полагает их в этих местах несколько крупнее.

«В расположении *кристаллов* замечается строгая правильность и постепенность; исключение составляет металл, окружающий некоторые пустоты, да рыхлый металл усадочного столба, где кристаллы расположены крайне неправильно, кроме того, и цвет его, матовый и отчасти желтоватый, заметно отделяется (в особенности на свежем изломе) от остальной плотной и блестящей массы».

Заметив между прочим, что описываемая болванка была отлита из довольно мягкой шихты (60 ф<унтов> железа и 5 ф<унтов> чугуна), что температура металла в момент отливки была близка к точке плавления, что обстоятельства остывания содействовали его быстроте, автор переходит к следующим общим заключениям:

«Что размер кристаллов или крупность зерен в стали при равенстве всех других обстоятельств, т. е. при одинаковом сорте и при одном и том же отливаемом предмете, зависит:

1) от избытка температуры жидкого металла над той, которая действительно необходима для его расплавления, и, следовательно,

2) от времени, которое отлитая масса употребляет для своего охлаждения и отвердевания.

Таким образом, чем ниже температура, при которой происходит отливание в форму, и чем быстрее может быть охлаждена масса до ее отвердевания, тем плотнее (?) будет зерно металла, тем малочисленнее и менее вредны будут *плоскости слабости* и, наконец, тем выше будет плотность (?) отлитой вещи, при всех других одинаковых обстоятельствах».

В подтверждение всех этих положений автор ссылается на исследования Bolley над частичными свойствами цинка, который по своим физическим

и химическим свойствам есть тело, до такой (будто бы) степени сходное с железом, что все (?), доказанное для одного, справедливо и для другого (?). Так как автор признает выводы Bolley до некоторой степени справедливыми и для литой стали, то принимая во внимание сказанное выше о сложении металла при известных способах охлаждения, он выводит следующие общие положения:

1) Что дульная часть таких болванок, отлитых из *мягкой шихты*, имеет вообще сложение *мелкопластинчатое*, переходящее в крупнопластинчатое в казенных частях и в особенности в центральных частях последних. Мы думаем так, говорит автор, потому, что мягкая сталь отливается в изложницы лишь при температуре, незначительно высшей против точки ее плавления, и в дульных частях, как имеющих меньший диаметр, стынет быстрее, чем в казенных.

2) В болванках, отлитых из (сравнительно) жесткой шихты, в сложении металла тем более преобладает зерно крупное, чем больше диаметр изложницы, а следовательно, чем медленнее остывание, потому что такая сталь выливается в изложницу при очень высокой температуре (над точкой плавления), в казенных же частях таких болванок, где остывание еще более замедляется, кристаллы могут получать весьма сильное развитие.

От этого избытка температуры стали (над точкой ее плавления) в момент отливки, вероятно, зависит не только *плотность* литой массы, но и объем верхней пузыристой воронки, развитие головной части усадочных раковин и всего рыхлого центрального столба.

По-видимому, чем выше температура металла в момент отливки, *тем более плотность образцов* (уд. вес?), взятых из частей болванки, где нет пустот, но зато тем сильнее развитие и сконцентрирование газовых и усадочных пустот в верхней части болванки; при низкой же температуре (близкой к точке плавления), — как, например, при сортах очень мягких, — развитие газовых пустот вверху, рыхлость и объем усадочного столба менее значительны, но зато вся остальная масса болванки переполнена большим количеством газовых пузырей, задержанных в металле при быстром его остывании.

Далее автор описывает разрезанную вдоль пушечную 4-ф<унтовую> болванку и при этом повторяет то же самое, что высказал относительно первой болванки. Потом переходит к распределению *плотностей* в литых болванках, прилагает тут две подробные таблицы цифр удельного веса образцов, взятых из различных мест, и приходит к тем же выводам, которые приведены в статье г. Лаврова. Относительно же неодинаковости *химического состава стали* в различных местах литых болванок автор вовсе не приводит своих исследований, просто ссылаясь на статью г. Лаврова, и тем оканчивает первую главу.

Вторую главу г. Калакуцкий начинает исследованием влияния, производимого *нагревами и ковкой* на структуру литой стали.

Место это — одно из самых интересных в его статье, и хотя тут встречаются недомолвки, а иногда и не совсем правильный взгляд (что, конечно, надобно объяснить недостатком наблюдений), тем не менее нельзя не посоветовать прочесть его с особенным вниманием тем, кто хочет поближе озна-

комиться с ковкой стали. Желая сообщить свои собственные исследования по этому предмету, я ограничусь только выпиской следующих положений, выведенных автором из полученных им данных:

a) что ковка изменяет структуру литого металла и что эти изменения сопровождаются колебаниями в цифрах, выражающих плотность прокованных кусков;

b) что удельный вес литого металла, при отсутствии в нем пустот, есть в то же время предел его наибольшего уплотнения; а следовательно, ковка, изменяя структуру, может уменьшать абсолютную плотность отдельных кусков, увеличивая вместе с тем гравиметрическую плотность проковываемых предметов, потому что способствует уничтожению внутренних пустот, сближая их стенки и даже сваривая их между собой, если обстоятельства тому благоприятствуют;

c) что нагревание и затем медленное охлаждение производят действие, обратное ковке, т. е. что в этом случае, по-видимому, происходит увеличение абсолютной плотности отдельных кусков при общем уменьшении удельного веса исследуемых предметов, а следовательно, нагревы отчасти уничтожают действие ковки, что доказывается и изменением полученной структуры;

d) что ковка должна быть ведена почти до охлаждения стали или до́ бура, ибо фаза перегруппирования лежит близко к этой температуре;

e) что прокованные части следует совершенно предохранить от действия нагревов в том случае, когда ковка частей, с ними смежных, еще не кончена;

f) что понижение плотности проковываемой вещи зависит от температуры, при которой была прекращена ковка, и от быстроты или медленности затем следующего охлаждения.

Все сказанное здесь автор резюмирует так: ковка изменяет структуру литого металла, а вместе с тем в большей части случаев *уменьшает* его абсолютную плотность; увеличить удельный вес стали можно сильными нагревами при слабой ковке, но при этом развивается кристаллизация; для устранения этой кристаллизации ковку следует вести до охлаждения поверхности и не подвергать прокованные части болванки бесполезным нагревам; и наконец, понижение плотности кованой вещи, по-видимому, зависит от высоты температуры, при которой была прекращена ковка.

Повторяю, что статья о ковке заслуживает полного внимания специалистов и нельзя не поблагодарить автора за сообщенные им подробности своих опытов (о ковке 22 страницы).

Далее помещены исследования о распределении плотностей в больших кованых массах. Предполагая известными результаты, полученные г. Лавровым, относительно распределения плотностей в орудиях по *длине* канала, автор приводит премущественно те цифры, которые дают возможность познакомиться с изменением плотностей в *поперечных* сечениях орудий, по направлению от центра к окружности. За весьма малыми исключениями, все исследования этого рода могли быть произведены автором только над прибылями орудийных болванок и над кольцами от дульного среза.

Средние цифры, выведенные из отдельных определений, показывают, что наибольшая плотность металла заключается между осью прибылей и тем местом, которое соответствует положению внутренней стенки канала; отсюда, в обе стороны, — плотность металла сильно понижается к центру и весьма постепенно к поверхности. Здесь мы видим, говорит автор, как бы три различных слоя металла, или три цилиндра различной плотности, помещенных один в другом. Но как этот вывод основан только на цифрах удельного веса образцов из прибылей, то и сам автор ограничивает его значение. Что же касается до других мест кованых пушечных болванок, то из приложенной таблицы удельного веса образцов, взятых с различных сечений откованной и потом разрезанной 4-фунтовой пушки (забракованной за центровые трещины), видно, что и тут повторяется то же самое явление, которое замечено при исследовании прибылей. Так, через всю толщину болванки, между ее осью и наружной поверхностью, проходит слой весьма плотного металла. Причину этого явления автор относит прямо к отливке и малую плотность оси и поверхностных слоев приписывает только существованию, с одной стороны, рыхлого усадочного столба, с другой — присутствию большого количества газовых пустот в наружных слоях болванки.

В конце этой главы г. Калакуцкий в нескольких словах весьма ясно объясняет происхождение центровых трещин в орудиях. Я выписываю это место вполне:

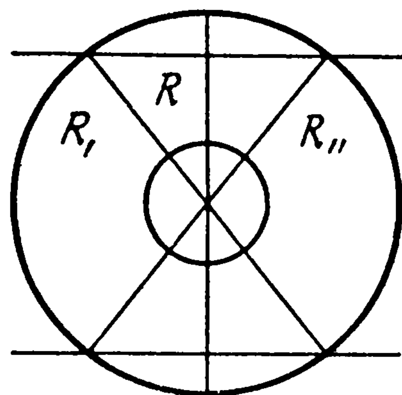
«Вообразим себе болванку, состоящую из плотного цилиндра, внутри которого находится концентрический с ним цилиндр, состоящий из рыхлого металла, повсюду переполненного пустотами, — и в особенности в верхней его части, где пустоты эти нередко образуют довольно широкий центральный канал. Для того чтобы проковать нашу болванку, мы должны придать ей вид четырехгранного бруса — так, по крайней мере, принято начинать ковку. Сбивание болванки в брус делается довольно слабыми ударами молота, ее — как говорят на фабриках — *обжимают*, а затем, т. е. придавши ей вид четырехгранной призмы с притупленными углами, начинают ковать сильными ударами по широким граням. Ковку ведут или до уничтожения закруглений, или придают болванке 8-гранную форму, подставляя ее притупленные углы под удары молота и получая таким образом новые грани, и т. д.

Спрашивается, как при этом станет изменяться внутренний цилиндр? Начнем с обжимки. При ударе молота по сферической поверхности болванки наибольшему сжатию, очевидно, подвергаются все частицы, лежащие в плоскости, проходящей через ось болванки и центр тяжести молота, т. е. по радиусу R <фиг. 2>.

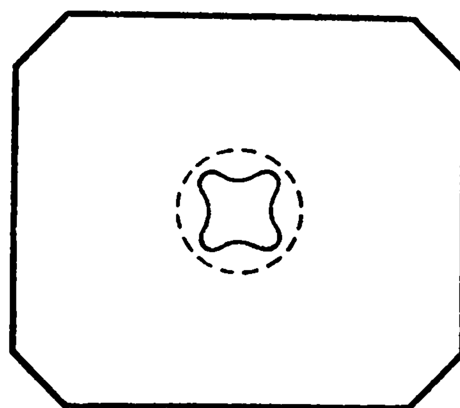
Сила сжатия будет постепенно уменьшаться в обе стороны от этого направления, а по радиусам R' и R'', т. е. по линиям, ограничивающим плоскость соприкосновения молота с телом болванки, она будет равна нулю. В силу этого металл наружного цилиндра будет вдавлен, наподобие клина, в рыхлый центральный цилиндр, который, таким образом, при окончании обжимки примет вид четырехугольной звезды; а если мы допустим, что весь центральный столб переполнен раковинами и в них замк-

нутыми газами, то последние будут вытеснены в углы, где давление было наименьшее. Действительно, такая форма составляет самую характеристическую особенность центрального металла и *трещины* постоянно идут по звездообразным линиям. Как скоро внутренний металл при обжимке примет такие очертания, то дальнейшая ковка все резче и резче развивает эту четрехугольную звезду» ‹фиг. 3›.

При этом автор прибавляет, что центральный канал в литой болванке, начинающийся от вершины пузыристой воронки и, постепенно суживаясь, спускающийся книзу, есть готовая трещина в орудии.



Фиг. 2



Фиг. 3

Объяснение это вполне подтверждается в действительности, и, по моему мнению, объяснять происхождение таких трещин только развитием внутренних радиальных напряжений *при ковке*, как это сделал г. Лавров, по меньшей мере, — натяжка.

Третья глава посвящена почти исключительно исследованию плотности металла в *каналах и стенках* орудий валового приготовления. Материалом для этих исследований служила, по словам автора, целая *масса* фактов — результаты исследований свыше двухсот пушек валового приготовления. Но так как в течение последних лет деятельности фабрики (говорит автор) менялись и формулы шихт и способы ковки, то для правильности выводов необходимо было группировать имеющиеся данные по этим двум характеристическим особенностям приготовления.

Г. Калакуцкий, желая избежать слишком большой запутанности в изложении, как сам говорит, пренебрег всеми случайными уклонениями и ввел указания только на те оттенки данных способов, которые считал почему-либо особенно важными, так, например, на температуры нагревов при ковке.

Хотя он и подразделяет главнейшие операции на категории, так, например, все шихты делит на 5 номеров, способы ковки на два главных: ковка при слабых нагревах с наклепкою при окончательной отделке и ковка при высоких нагревах со штамповкой цапф и клинового утолщения; потом еще переходные способы, составляющие переход от первого ко второму и обратно, — но, независимо от этого подразделения, автор должен был принять еще четыре категории ковки, к одной из которых должно относиться всякое орудие. Если к этому прибавить еще указания на случайности, имевшие место при ковке почти каждого орудия, притом такие случайности, как сильный нагрев болванки и оставление ее после того без проковки; нагревание цапфельной части или замочного утолщения для их перештамповки уже после окончательной отделки болванки под молотом; нагревание различных мест болванки (также после окончательной ковки) для исправления искривлений и неправильностей формы и т. п. особенности, то мы видим, что число категорий должно быть едва ли не равно

числу орудий и что числа, полученные при исследовании образцов *одного орудия*, никоим образом не могут иметь тесной связи с числами для другого; сам автор, ввиду такого разнообразия условий обработки пушечных болванок, постоянно прибегает к выводам средних чисел, но и при этом на каждом шагу встречаются исключения. Принимая все это во внимание, нельзя придавать серьезного значения выводам относительно целых орудий, что же касается отдельных кусков, то числа таблиц вполне подтверждают те положения относительно влияния нагревов и ковки, которые высказаны автором во II главе и которые были приведены мною выше вполне. Глава III заслуживает внимания скорее по обилию фактов, нежели по выводу из них каких-либо общих заключений. Интересны, между прочим, данные, относящиеся до четырех орудий, надрезанных вдоль и сломанных на фабрике для исследования *сложения* металла в их стенках.

4-Фунтовая пушка № 174, приготовленная из жесткой шихты и кованная совершенно без штампа, замечательна тем, что при *превосходном* (но каком?) сложении металла по всей дульной части имела, однако же, центровую трещину, до такой степени развитую, что следы ее видны даже в стенке орудия, которое по этой причине и было забраковано, а канал высверлен только до пояса цапф.

Орудие № 116 замечательно тем, что на сложении его металла видно, какое влияние производит штамп. Цапфы этого орудия были штампованы, а потому и сложение металла в них крупнозернистое; кроме того, крупное зерно заметно и в прилегающей к ним казенной части. В орудии были центровые трещины, но слабо развитые; трещины, прибавляет автор, преимущественно бывают в орудиях катаных, к числу которых эта пушка и относится.

В орудии № 240 казенная часть положительно испорчена нагреваниями (после ее ковки), которым она подвергалась при штамповке и отделке цапф и клинового утолщения, что служит несомненным доказательством вредного влияния этого способа ковки, слабое действие которой видно по газовым пузырям и свищам, оставшимся в стенках отделанного орудия. Эти же пороки были еще более развиты в центральных частях канала клинового утолщения, за которое орудие это и было забраковано фабрикой. Весьма сильные нагревы при ковке этого орудия (вар), а затем исправление его под молотом способствовали переходу металла из сложения зернистого в сильнопластинчатое с кристаллическими прослойками (?).

Орудие № 180 было ковано два раза: сперва в 12-фунтовую пушку дальнего бросания (первоначальная болванка была отлита для орудия этого калибра), которое было забраковано за центровыми трещинами при сверлении дульной части, из казенной же части было выковано 4-фунтовое орудие. Судя по двойной ковке орудия, можно было ожидать, что мы найдем превосходный металл в нем (тут нельзя не заметить, как сильно влияют ложные предубеждения, — сам же автор предостерегает от этого тех, кто хочет основательно изучить занимающий нас вопрос, и уже выше говорил о том, что нагрев — сильный — уничтожает действие предыдущей ковки на структуру и плотность стали, однако невольно высказал

ожидание, которое есть непременный результат убеждения, что будто бы чем большее число раз мы прокуем кусок стали, тем будет он плотнее; как и следовало ожидать, — он ошибся), в некоторых его частях, так, например, почти во всем клиновом утолщении металл был положительно дурен; в других же частях, судя по виду излома, он был посредственного достоинства, за исключением начала дула и казенной части, в том именно месте, где по заряжении лежит снаряд, — здесь он был вязок и занозист. Автор говорит, что, по всей вероятности, это обстоятельство и было причиной того, что орудие выдержало 1000 выстрелов.

Далее автор говорит еще об одном 4-ф<унтовом> орудии, перекованном также из 12-фунтового; пушка эта была разорвана на 15-м выстреле от заряда в 3 фунта; сложение металла в кусках, собранных после разрыва, было весьма крупное и дурное, а между тем излом прибылей был мелкозернистый.

Я остановлюсь еще на следующем замечании автора, помещенном в выноске: сомневаясь в возможности *пережога* в таких массивных предметах, каковы орудийные болванки, он обозначает этим словом все явления, связанные с перекристаллизацией металла под действием сильных нагревов без ковки или же медленного охлаждения после ковки, конченной при высокой температуре болванки, и т. д. Мне кажется, тут следовало бы употреблять слово *перегрев* вместо *пережог*.

Автор заканчивает эту главу приложением таблицы удельного веса стружек и кусков, взятых из различных мест разорванных на пробе орудий. Однако зависимости между цифрами этой таблицы и стойкостью орудий вывести нельзя, а потому мне кажутся более полезными приложенные в таблице заметки относительно сложения металла в этих орудиях, откуда видно, что почти все эти орудия были чрезвычайно крупнозернистого и кристаллического сложения.

Теперь я скажу несколько слов о четвертой, и последней, главе статьи г. Калакуцкого и затем перейду к заключению. Четвертая глава посвящена замечаниям о молоте и потом общим замечаниям о ковке стальных болванок. Что касается замечаний о молоте, то я решительно не понимаю, с какой целью автор их поместил. Он говорит несколько слов о том, как действует пар в молоте, как устраивается самый молот, но так элементарно, что ни практик, ни теоретик ничего не могут вынести из этого описания; затем он приводит способы вычисления силы ударов молота и сжатия болванок; при вычислении, во-первых, не принято в расчет ни трения в сальнике, ни сопротивления мятого пара, воздуха и т. п.; во-вторых, высота подъема молота подведена под такие условия, которые в действительности не существуют; вообще, мне кажется, даже точное вычисление силы удара молота при ковке вовсе не имеет той важности, какую приписывает ему автор.

Следующие за этими арифметическими выкладками замечания о ковке орудий по способу, употребляемому на Златоустовской Князе-Михайловской фабрике, чрезвычайно интересны и в особенности имеют значение с исторической точки зрения. Впоследствии, когда мы будем хорошо работать стальные орудия, любопытно будет взглянуть, как мы метались из

стороны в сторону, чтобы как-нибудь попасть на прямой путь. Из статей гг. Лаврова и Калакуцкого видно, что фабрика не имела никакой опорной точки: постоянно изменялись формулы шихт, формы изложниц, температура нагревов при ковке, но ничто не помогало: орудия браковались непомерно.

После описания манипуляций ковки г. Калакуцкий приводит несколько таблиц, относящихся к разорванным на пробе орудиям; таблицы эти не имеют большой важности относительно собственно пушечного дела, но, как я уже сказал, им можно дать значение исторического материала.

Переходя к заключению, я должен сказать, что наша литература должна гордиться трудами гг. Лаврова и Калакуцкого; они первые указали на распределение пустот в литых стальных болванках и зависимость их от обстоятельств плавки и литья — распределение плотностей самой стали в различных местах болванок и неодинаковость ее химического состава; первые подробно познакомили со всеми манипуляциями сталепушечного дела, и не их вина, конечно, что им пришлось знакомить читателей только с ошибками этого дела. Нельзя не поблагодарить авторов за приложение к статьям большого количества численных данных, служивших им самим для вывода своих заключений, а также и за приложение хороших рисунков разрезов литых болванок.

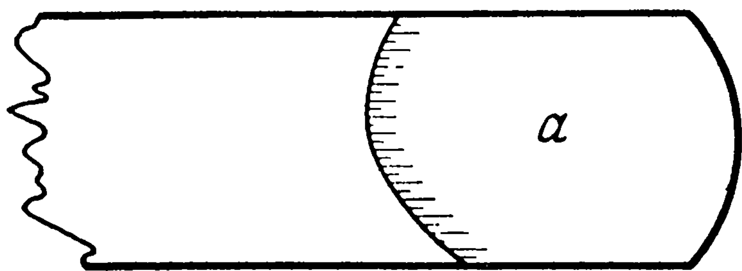
Однако, прежде чем окончить беседу, я просил бы вас, мм. гг., выслушать мои собственные исследования об обработке стали, так как мне пришлось по роду занятий моих несколько познакомиться с этим предметом. Я уже намекал на то, что до сих пор *наши взгляды и предубеждения относительно обработки стали чрезвычайно ложны в своих главных основаниях*; я сделал только намек на это, но собственно систематического изложения своих соображений не привел и теперь в коротких словах скажу то, что мог вынести из своих наблюдений.

III.

Сталь, до сих пор употребляемая в промышленности и в искусствах, по преимуществу есть соединение железа и углерода. Чем чище это соединение в данном куске стали, тем лучше, тем выше ее качества. Самая лучшая сталь, какую когда-либо, где-либо делали, есть, без сомнения, б у л а т.

Особенность булата, а именно узоры на нем, сбивала многих с толку; все хотели искать эти высокие качества булата в каких-то особенных примесях, делали весьма тщательный анализ и не находили, к удивлению, никакого заметного элемента, присутствие которого могло бы объяснить эти узоры. Так как узоры в булате тесно связаны с качеством самой стали, то нападали на мысль приискать такое составное вещество, которое, будучи сплавлено со сталью, давало бы узоры; сплавляли сталь с разными металлами: с платиной, серебром и т. д. и, действительно, получали узоры, но, во-первых, они далеко не имели ни той правильности, ни той красоты, и, во-вторых, и самое главное, полученная сталь всегда уступала в качестве булату.

Особенность узоров булата заключается еще и в том, что если вы нагреете кусок хорошего булата с ясно развитыми узорами до светло-красного каления, то после охлаждения уже не получите на нем узоров, как бы долго вы ни вытравляли его поверхность; узоры же, получаемые от сплавления с другими металлами, не исчезают, как бы ни нагревали такой сплав. Если же булатный кусок с исчезнувшими узорами переплавить вновь, то при известных условиях остывания полученного слитка узор появляется опять, хотя и несколько измененного рисунка; таким образом, можно вызывать и уничтожать узоры несколько раз. Исследования Аносова [5*] показали ясно, что загадка разрешается чистотою стали, и ему, как известно, удалось приготовить самые высокие сорта восточного булата.



Фиг. 4

В прошедший раз я говорил о замеченных мною матовых поперечных лентах на орудиях при обточке их на станке; при помощи журнальных отметок, веденных мною при ковке всех орудийных болванок, я нашел, что эти полосы являются именно в тех местах, где была в последний раз граница между раскаленной и нераскаленной частями болванки при ковке, т. е. каждый раз в том месте, до которого мастер закладывал болванку в печь; вид и положение такой полосы были всегда одинаковы с видом линии, ограничивавшей раскаленную часть. Если замеченное мною таким образом место подвергалось затем нагреву в печи, то при обточке на нем уже не замечалось никакой ленты. Кроме того, некоторые из таких матовых полос, по снятии резцом более или менее толстого слоя металла, исчезали, другие же проходили чрез всю толщу болванки и при обточке вовсе не уничтожались.

Замечательно еще и то, что иногда переход от раскаленной части к нераскаленной был так постепенен, что на глаз не было никакой возможности указать разграничивающую линию, тем не менее матовая лента, появлявшаяся в этом месте при обточке болванки, была ограничена весьма ясно, так что ее можно было легко очертить карандашом на болванке. Нужно заметить, что матовая лента имеет более или менее резкую границу только с одной стороны, обращенной к ненагревшейся части болванки, в другую же сторону она как бы стушевывается (фиг. 4, нагревался конец *a*).

В прошедший раз я также намекнул о том, что, желая исследовать действие ударов молота на структуру стали, я нагрел небольшую болванку (в 4 $^1/_2''$ толщиною) до ярко-красного цвета, сделал по ней два сильных удара 5-тонного молота таким образом, что одна треть осталась нетронутою, другая получила один удар и сплюснулась до толщины 3″, а последняя треть получила два перекрестных удара, причем каждый раз сжатие от удара было не менее $1^1/_2$ дюйма. Болванка затем оставлена охлаждаться на открытом воздухе; после излома оказалось, что структура болванки во всех сечениях была одинакова; не только для простого глаза,

но и при самом тщательном исследовании, под микроскопом, не было заметно разницы в сложении металла как в некованной части, так и подвергшейся двум сильным перекрестным ударам.

Кроме того, я упоминал в прошлый раз, что, исследуя влияние степени нагрева на степень закалки стали, однажды просил мастера нагреть кусок стали до темно-красного цвета, но тот нагрел его до светло-красного; желая исправить эту ошибку, я не опускал кусок в воду до тех пор, пока он не остыл до темно-красного каления; после чего кусок был погружен в воду. Несмотря на то что сталь была из сорта твердых, принимающих сильную закалку, кусок не закалился вовсе, а напротив, — сталь сделалась заметно мягче.

Я нарочно привел эти обстоятельства именно потому, что в связи со многими другими они подали мне повод и служили исходными точками к самостоятельному исследованию влияния теплоты на сталь. Не имея времени распространяться о ходе самих исследований, я сообщу только те *выводы*, к которым пришел.

Если расплавленную в тигле сталь вы будете при охлаждении приводить постоянно в сильное сотрясение, достаточное для того, чтобы все частицы ее приходили в движение, тогда охлажденный слиток будет иметь чрезвычайно мелкие кристаллы; если же эту сталь оставить без всякого сотрясения и дать массе спокойно и медленно охлаждаться, тогда у вас эта же самая сталь получится в крупных, хорошо развитых кристаллах. Вид этих кристаллов и способность вообще кристаллизоваться при этих условиях зависит от чистоты стали. Как я уже сказал, крайняя чистота стали — это есть чистые две составные части ее: железо и углерод, и что самая лучшая сталь состоит из соединения только этих двух элементов.

Что касается других элементов, присутствие которых в стали обусловливало бы ее качества как стали, то нельзя не упомянуть о мнении Фреми, который считает азот до того существенным и необходимым элементом как для образования, так и для существования стали, что положительно утверждает: *если у стали отнять ее азот, она перестает быть сталью* (Comptes rendus, t. LII, Avril, 1861); приверженцы этого мнения идут еще далее и утверждают, что сталь есть соединение железа с синеродом, который даже видят горящим фиолетовым пламенем при отливке стали. Однако до сих пор самые тщательные исследования Карона, Маршана, Буи, Буссенго, Раммельсберга и других не подтвердили мнения Фреми, так как, с одной стороны, азот найден также и в мягком железе и в чугуне, с другой же стороны, количество находящегося в стали азота весьма непостоянно и вовсе не находится в каком-либо определенном отношении к количеству содержащегося в ней углерода и притом так мало, что едва достигает десятой части этого последнего; так, Буссенго нашел 0,00057 ‹%› азота в литой стали и 0,00124 ‹%› в мягком железе (Comptes rendus, t. LII, p. 1251); в другой раз он нашел в крупповской стали 0,00022 ‹%› азота, в мягком железе и в литой стали поровну — 0,00007 ‹%› азота (Comptes rendus, t. LII, p. 9).

Относительно влияния посторонних металлов на качество стали нужно заметить, что некоторые из них сообщают ей особенный цвет, уменьшают

способность ржаветь [7], иные, заменяя углерод, сообщают ей способность принимать сильную закалку и т. п.; большая же часть посторонних примесей, даже в самых незначительных количествах, сильно понижает ее достоинство. Так, например, ковкость стали, находящаяся в прямой зависимости от количественного содержания углерода, значительно понижается от присутствия посторонних примесей, например бессемеровская сталь № 1, содержащая 2% углерода, едва обладает ковкостью (*Boman L.* Das Bessemern in Schweden. Leipzig, 1864), тогда как, по мнению Аносова, чистая сталь обладает еще ковкостью даже при содержании 3% углерода (самый крепкий булат).

Вообще говоря, все стремления металлургов при получении высших сортов стали должны быть направлены к тому, чтобы по возможности удалить все посторонние вещества из сырых материалов, чтобы сколь возможно ближе подойти к соединению с углеродом в получаемом продукте, и все специи, снадобья, составляющие предмет так называемых секретов, должны состоять именно в том, чтобы по возможности, не вводя лишних посторонних веществ, освободить сырые материалы от вредных примесей, и, в крайнем только случае, заменить их менее вредными.

Кстати сказать, вольфрамистая сталь оказалась неопасною соперницею углеродистой; дело в том, что вольфрам при нагревании стали постепенно окисляется, сначала с поверхности брусков, а потом окисление проникает внутрь, так что после сравнительно небольшого числа нагревов сталь теряет свои качества. Окисление это происходит даже и при обыкновенной температуре.

Взятый из тигля кусок литой стали, если она охлаждалась весьма медленно, как я уже сказал, представляет кристаллическую массу. Если вы нагреете этот кусок до светло-красного каления и оставите охлаждаться, не подвергая никакой механической обработке, то после излома вы увидите, что структура его изменилась.

Для того чтобы яснее представить закон изменения структуры стали от ее нагревания, я начерчу прямую линию, на которой, как на термометрической шкале, отмечу несколько особенных точек, соответствующих некоторым определенным температурам (фиг. 5).

Пусть точка *o* означает нулевую точку термометрической шкалы, точка *a* означает темно-вишневое каление, точка *b* — красное неблестящее каление, и пусть точка *c* соответствует температуре плавления данной стали [6*]. Точки *a*, *b* и *c* не имеют постоянного места на шкале и перемещаются сообразно со свойствами стали (для чистой стали это перемещение прямо зависит от процентного содержания в ней углерода); чем тверже сталь, тем более эти точки придвигаются к нулю, а чем мягче сталь, тем более они от него удаляются, вообще говоря, *с различными скоростями*. Пределы этих перемещений довольно тесны, так что, например, для не-

---

[7] В этом отношении сплав стали с серебром, по опытам Фарадея, а также известного металлурга Аносова, оказался менее способным к ржавлению, тогда как другие утверждают (*Percy*, Métallurgie, t. II, p. 297), что от примеси серебра к стали способность ржаветь значительно усиливается. Не бесполезно было бы разъяснить это противоречие.

опытного глаза они едва ли могут быть заметны. Не имев возможности измерить эти температуры при помощи физических приборов, я по необходимости ограничился обозначением их по цвету каления, все оттенки которого может различить только опытный глаз; считаю необходимым прибавить, что указанные цвета каления относятся к твердым и средним сортам стали; для самых мягких, близких к железу, сортов точки *a* и *b* уже значительно удаляются от *o*, так что, например, для железа точке *b* соответствует белое каление [8].

Не изменяет структуры

При движении от *b* к *c* — аморфное состояние

Фиг. 5

Не закаливается

При движении от *c* к *b* — кристаллизация

Значение точки *a* заключается в следующем: сталь, как бы тверда она ни была, будучи нагрета ниже точки *a*, не принимает закалки, как бы быстро ее ни охлаждали; напротив того, — она становится значительно мягче и легче обрабатывается пилою. Не имея времени войти в подробности для объяснения этого явления, я упомяну только об исследованиях Жюльена [9] о закалке вообще, из которых он выводит весьма правдоподобное заключение, что сталь при охлаждении из раскаленного состояния *удерживает некоторое количество теплорода в скрытом виде*; *количество это находится в прямой зависимости от быстроты охлаждения*; так что чем быстрее охлаждение, тем более скрытого теплорода удерживается сталью; однако если скорость охлаждения уменьшится до некоторого известного предела, то уже скрытый теплород высвобождается весь и закалки не происходит. Самое же явление закалки Жюльен объясняет *переходом углерода в анормальное кристаллическое состояние*. Прибавим здесь от себя, что все это происходит тогда, когда сталь была нагрета выше *определенной температуры*, *отмеченной на нашей шкале точкою a*.

Значение точки *b*. Сталь, будучи нагрета *ниже точки b*, *не изменяет своей структуры* — медленно или быстро после того она охлаждается. Слова эти нужно принимать *условно*, так как сталь *в весьма продолжительные промежутки времени* и в особенности под влиянием сотря-

[8] К сожалению, для этих опытов в распоряжении автора было отчасти пережженное (окисленное) железо, чем и объясняется сделанное здесь указание на слишком высокую степень каления. Последующие опыты с применением пирометра показали, что точка *b* для железа не достигает 1000°. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

[9] Весьма интересные исследования по этому предмету можно прочесть в «Les affinités capillaires et les phénomenes de la trempe mis en présence», par. M. Jullien, Paris, 1866, а также в его теории закалки, помещенной в «Mémoires et comptes rendus de travaux de la société des ingénieurs civils», 1853, № 29.

сений даже и при обыкновенной температуре (однако в меньшей степени, нежели железо) из мелкозернистого сложения переходит в крупнозернистое; что же касается нагретого, следовательно, размягченного состояния, в особенности при температурах, соседних с точкою *b*, то, *по всей вероятности*, при большей свободе перемещения частиц стали *перемена структуры совершается* несколько быстрее. При своих опытах я продерживал куски стали при температурах, близких к точке *b*, в продолжение около 8 часов; после медленного охлаждения в горячем песке не замечал, однако, никакой перемены в структуре этих кусков.

Как только температура стали возвысилась до точки *b*, масса стали быстро *переходит из зернистого* (или, вообще говоря, *кристаллического*) *в аморфное* (воскообразное) *состояние* [10], которое удерживает при дальнейшем нагревании до самой точки плавления, т. е. до точки *c*. В этом состоянии масса стали обладает свойством несжимаемости и вместе с тем (относительно прочности аморфизма) имеет аналогию с чрезвычайно концентрированным раствором сильно кристаллизующейся соли.

Для большей ясности представим себе кристаллический кусок квасцов, положенный в стеклянную колбу; при осторожном нагревании мы увидим, что по достижении некоторой определенной температуры кусок сделается как бы смоченным, отдельные кристаллы, составляющие данный кусок, будут как бы слипаться между собой, образуют одну общую расплывающуюся массу, которая, наконец, превращается в жидкость, представляющую раствор квасцов в своей кристаллизационной воде. Если вы теперь начнете охлаждать эту жидкость, то соль начнет кристаллизоваться и, смотря по условиям этого охлаждения вы можете получить от самых крупных до самых мельчайших, едва заметных для глаза, кристаллов. Так, если жидкость останется в совершенном покое и будет охлаждаться весьма медленно, то получатся правильные, хорошо развитые, крупные кристаллы; если при таком же медленном охлаждении жидкость будет подвергаться постоянному сотрясению, взбалтыванию, то кристаллы получатся очень мелкими. При спокойном состоянии жидкости, но при быстром охлаждении кристаллы получатся также мелкими; наконец, наименее благоприятные обстоятельства для кристаллизации будут тогда, когда к быстрому охлаждению присоединится и сильное сотрясение жидкости. Одним словом, все зависит от того, большее или меньшее время и большую или меньшую свободу имеют частицы для своего перемещения и группирования в кристаллы; первое зависит от быстроты охлаждения, а второе — от спокойствия и большей или меньшей густоты кристаллизующейся массы.

То же самое происходит и со структурою стали, нагретой выше точки *b*. Чем более нагрета сталь, тем более она размягчена, тем более, следовательно, свободы имеют ее частицы для группирования в кристаллы (если спокойствие массы не нарушается действием внешних сил) и тем большее время они для того имеют, чем медленнее температура понижается до

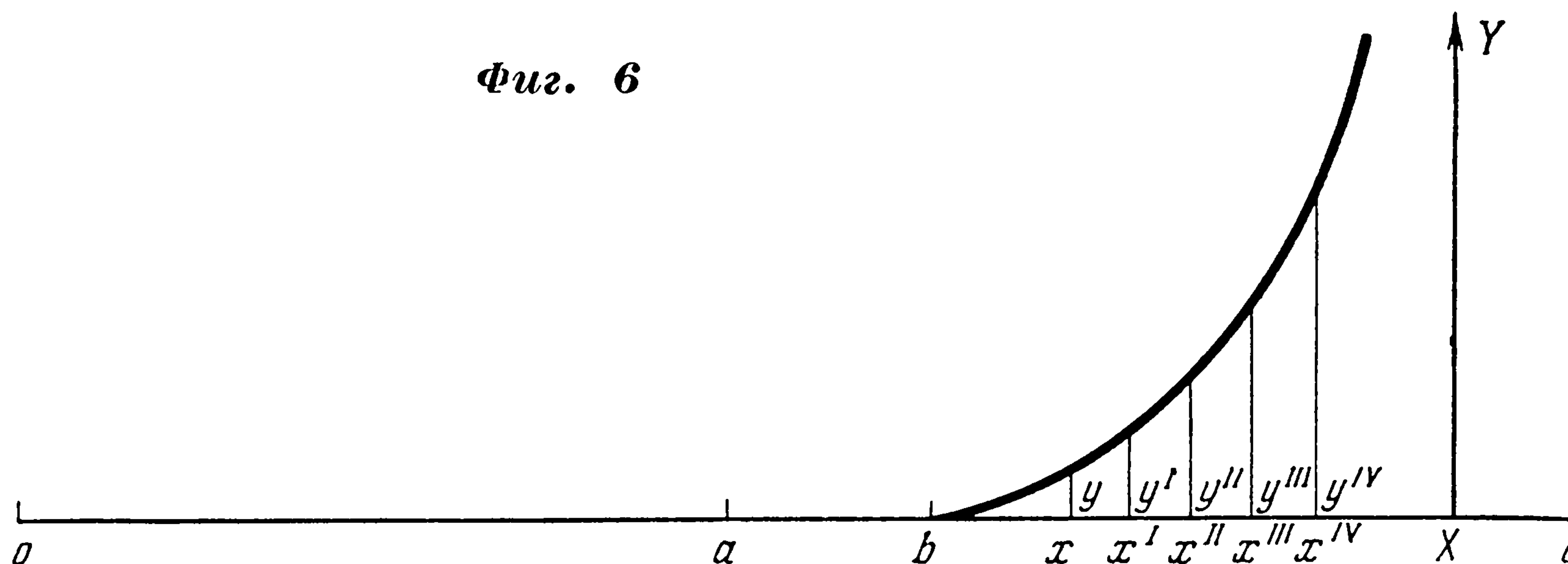
---

[10] Этот переход вполне аналогичен перемене агрегатного состояния. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

точки *b*, ниже которой, как выше сказано, структура уже не изменяется. В этом случае можно провести аналогию между углеродом и кристаллизационной водой и тогда значение точки *b* становится удобопонятным.

Способность стали принимать зернистое строение может быть представлена графически следующим образом: возьмем нашу шкалу температур *o*, *a*, *b*, *c* за ось абсцисс и отметим на ней температуры x, x', x''... Затем на оси ординат отметим соответствующие величины y, y', y''...,

Фиг. 6



пропорциональные *степени развития*[11] *зерна* при охлаждении стали от соответствующих им температур x, x', x'' ... Таким образом, мы получим (фиг. 6) некоторую кривую, начинающуюся от точки *b* и представляющую зависимость между развитием зерна и температурой нагрева, в предположении, что охлаждение между точками x, x', x'' ... и *b* происходит всегда в тех же самых условиях.

Для некоторой определенной температуры X, низшей *c*, ордината Y превращается в бесконечность и служит асимптотою для кривой, — это соответствует хорошо известному факту, что при нагревании до очень высоких температур сталь перед своим плавлением распадается на куски или рассыпается в зерна.

Чем тверже сталь, тем ниже температура, при которой происходит это явление, и тем более точка X удаляется от точки c и приближается к точке o.

При выделке различных предметов из стали мы стараемся получить их по возможности мелкозернистого сложения, в особенности если от выделываемого предмета требуется прежде всего прочность. Я говорю, что лучше получить предмет в мелкозернистом сложении потому, что многочисленные опыты доказали, что чем более преобладает кристаллическое сложение, чем крупнее и правильнее кристаллы в данном куске стали, тем менее обнаруживает он сопровотивления, тем менее в нем вязкости; и потому у нас практики обыкновенно определяют достоинство стали по виду излома: если излом показывает мелкозернистое сложение, то привыкли говорить, что кусок хорошо прокован и уплотнен; если же — крупнозернистое, то говорят, что он дурно прокован и мало уплотнен.

[11] Т. е. интенсивности кристаллизации, но не величине зерна. — *Прим. Д. К. Ч<ернова>, 1914 г.*

Хотя мы и привыкли с понятием о ковке стали соединять всегда понятие о ее уплотнении, но на самом деле выходит, что в большей части случаев ковка [12] только изменяет форму данного куска и, смотря по отношению силы ударов молота к толщине обрабатываемого куска, в большей или меньшей степени мешает кристаллизации массы стали, но не может уплотнить ее; сила ударов молота слишком мала, чтобы победить ту громадную силу теплоты, которая отдаляет частицы одну от другой на известные расстояния [13].

Задача ковки (при температурах, высших точки b) должна состоять именно в том, чтобы, изменяя форму данного куска, не давать ему где бы то ни было спокойно охлаждаться и кристаллизоваться, а также чтобы поддерживать его в аморфном состоянии до тех пор, пока температура не понизится до точки b; оставленный после того охлаждаться полученный кусок уже не примет кристаллического сложения [14], будет обладать большей вязкостью и действию внешних сил будет представлять действительно абсолютное сопротивление, так как сложение его в полном смысле слова будет однородное (конечно, если кусок имел во всех местах одинаковый химический состав) и все частицы его будут участвовать в сопротивлении.

Но, мм. гг., если бы на наших сталелитейных заводах задача ковки тем и ограничивалась, то ясно видно, что можно было бы легко обойтись и без нее, а именно требуемая форма куска могла бы быть придана ему прямо отливкой, а помешать кристаллизации можно было бы только быстрым охлаждением. На самом деле выходит далеко не так. В наших сталелитейных заводах задача ковки состоит еще в другом, а именно, как вы, мм. гг., могли заметить из статей гг. Лаврова и Калакуцкого, где довольно подробно говорилось об этом, литые стальные болванки, из которых должны быть приготовлены орудия, переполнены газовыми пустотами, пузырями внутри и на поверхности, а также усадочными раковинами, так что их в том виде, в каком они отливаются на наших пушечных заводах, положительно нельзя употреблять в дело. Пустоты эти нужно сжать, сдавить, а этого вы можете достигнуть только сильными механическими средствами, сильною проковкой. Не будь этих пустот, как газовых, так усадочных, можно было бы прямо в данную форму отливать орудия из стали, — так, как отливают их из чугуна.

Для убеждения в том, что литая масса стали не рыхлее прокованной при температурах выше точки b, я определял, с одной стороны, удельный вес той или другой и нашел, что в большей части случаев ковка только

---

[12] Я здесь говорю только о ковке стали при температурах, *высших нежели* b, как это обыкновенно бывает при ковке больших болванок.

[13] При *аморфном* состоянии стали и вместе с тем при температурах, высших точки b, атомы ее отделяются один от другого только силою теплоты.

[14] Если ковка будет остановлена ранее, нежели температура проковываемого куска понизится до точки b, то кристаллизация все-таки произойдет; и степень развития и величина кристаллов будут зависеть от того, как велика была разница между температурою в момент прекращения ковки и температурою b, а также и от того, с какой скоростью будет происходить охлаждение куска до температуры b.

уменьшает удельный вес стали [15], с другой стороны — производил испытание на разрыв.

Что прочность литой непрокованной стали нисколько не меньше прочности прокованной, если обе имеют одинаковое сложение, доказательством могут служить результаты произведенных мною с этой целью опытов: литую, непрокованную болванку крупнокристаллического сложения я разрезал вдоль на четыре части; одну из этих частей обточил, подверг испытанию на разрывной машине, не подвергая ни проковке, ни нагреву; другую часть, нагрев до светло-красного цвета, проковал весьма сильно под 3-тонным молотом, — ковка была прекращена при температуре, весьма близкой к точке *b*, но несколько выше ее, — после обточки этого куска подверг его также разрыву. Третью часть нагрел до красного каления (приблизительно до той температуры, при которой была прекращена ковка предыдущего куска) и без проковки оставил его охлаждаться на открытом воздухе. Отломив в одном месте небольшой кусок, я увидел, что сталь приняла мелкозернистое сложение, весьма близкое к сложению второго прокованного куска; этот третий кусок я также обточил и подверг испытанию на разрывной машине.

Все три образца теперь перед вами, мм. гг., и вы можете видеть, какое разнообразное сложение может иметь одна и та же сталь. Результаты испытаний на разрывной машине оказались следующие: первый, непрокованный, образец разорвался при усилии 2160 пудов на квадратный дюйм, окончательное удлинение составляло 0,023; второй, сильно прокованный, образец разорвался при усилии 2570 пудов на квадратный дюйм, окончательное удлинение было 0,053. Третий, некованный, но приведенный в мелкозернистое сложение только помощью нагревания, разорвался при усилии 2400 пудов на кв. дюйм, окончательное удлинение составляло 0,166. Диаметр первого образца был 0,885; второго — 0,85 и третьего — 0,63 дюйма. Таким образом, динамическое сопротивление одного кубического дюйма в первом случае было 24,8 пудо-дюймов, во втором 68,1 пудо-дюймов и в третьем 199 пудо-дюймов (для простоты здесь взято произведение разрывающего усилия на половину окончательного удлинения).

Я должен еще прибавить, что в сечении разрыва третьего куска, как вы можете видеть на представленном образце, попалось железное пятно, занимающее приблизительно $^1/_6$ часть площади и бывшее причиною преждевременного разрыва образца; вид излома, впрочем, весьма ясно показывает, что разрыв начался именно с этого пятна.

Конечно, для вывода заключений в более определенной форме нужен целый ряд опытов, прозведенных в этом направлении; что же касается испытаний на изгиб и излом помощью молотка, то из множества подобных опытов я только более и более убеждаюсь в справедливости моих первых предположений.

Из всего сказанного выше вы можете видеть, что все дело в сложении стали и что для успешности ковки нагретую и вынутую из печи бол-

[15] При разборе статей гг. Лаврова и Калакуцкого я указал на те места, в которых они оба высказали то же самое заключение, выведенное из своих наблюдений.

ванку нужно ковать по возможности быстро, чтобы не оставлять никакого места, где бы сталь могла спокойно кристаллизоваться, потому что, как я сказал, нагретый кусок стали нужно рассматривать как раствор сильно кристаллизующейся соли, который, чуть только оставили его спокойно охлаждаться, быстро выделяет кристаллы [16].

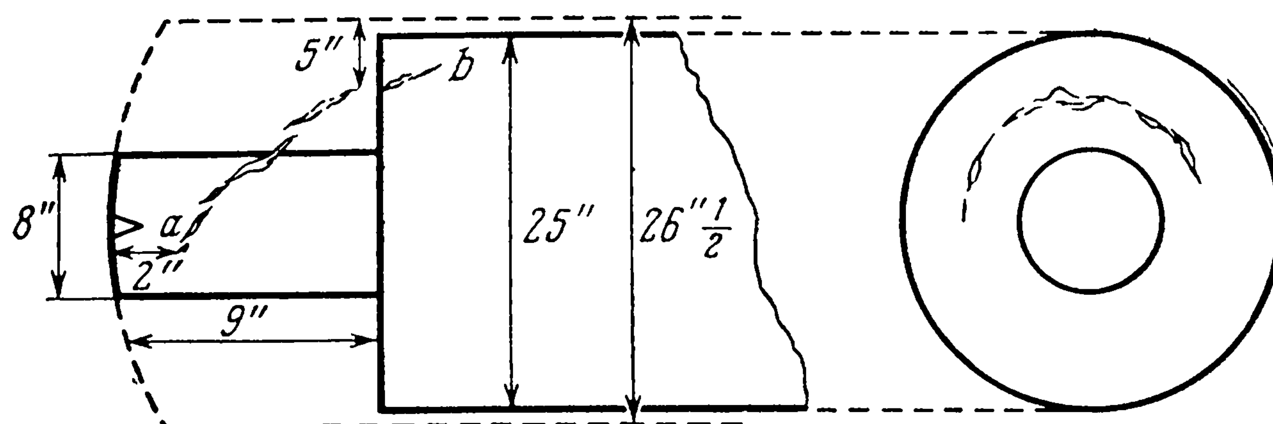
Чтобы показать вам, мм. гг., как велика *наклонность к кристаллизации* в стали, нагретой до очень высокой температуры и оставленной даже недолгое время спокойно охлаждаться, я взял с собою образцы, по которым вы можете судить об этой наклонности. Больший из этих кусков получен при следующих обстоятельствах: болванка мягкой стали, приготовленная к ковке, оставлена была в печи на полчаса после того, как уже была нагрета до ярко-оранжевого цвета, потому что молот был занят ковкой другой болванки. Но, чтобы не пережечь болванку, мастер умерил жар в печи и каление болванки спустилось постепенно до ярко-красного цвета. Если вы теперь припомните то, что мною было сказано о *наклонности стали к кристаллизации при понижении ее температуры* (в пределах между точками c и b), то можете себе представить, что в эти полчаса времени болванка успела изменить структуру и перейти из аморфного в кристаллическое сложение, которое могло произойти тем совершеннее, что болванка была сильно размягчена и частицам стали, при спокойном лежании болванки в печи, была предоставлена большая свобода к перемещениям. Когда молот освободился, мастер вынул болванку из печи и положил под молот; при первом же ударе посередине конец болванки от сотрясения отвалился сам собой; вид этого излома вы можете видеть на первом образчике. Другие образцы взяты от других болванок при подобных же обстоятельствах. Из этих образцов ясно видно, как сильно развились кристаллы, и притом каждый кристалл развился так самостоятельно, так мало связи было между отдельными кристаллами, что одного сотрясения было вполне достаточно, чтобы кусок отвалился от собственного веса. На образцах ясно видно, что излом произошел только по поверхностям отдельных кристаллов и нигде не проходил чрез тело самого кристалла.

Можно было бы отсюда заключить, что от подобного нагрева и последовавшего затем охлаждения болванка уже совершенно испорчена и что ковать ее нельзя. Но такое заключение было бы ошибочно. Правда, что чем выше температура болванки, тем более сталь подвергается действию печных газов и тем быстрее изменяется ее химический состав, и что продержанная при сильном нагреве в печи, она мало-помалу теряет свой углерод и приближается к железу (пережигается). Однако приведенный мной случай есть не более как перегрев, и чтобы найти, как в этом случае исправить ошибку, мы должны обратиться к условиям кристаллизации.

Для большей ясности возьмем опять расплавленные нами в колбе квасцы. Положим, температура плавления их была t_0 и мы потом довели их последовательным нагреванием до температуры t_1; при этом переходе квасцы оставались жидкими. Станем медленно понижать температуру при

[16] Повторяю, что все это относится до температур, высших b.

спокойном состоянии этой жидкости; тогда увидим, что при некоторой температуре t, промежуточной между t_0 и t_1, соль начнет кристаллизоваться; но достаточно взболтать раствор, чтобы кристаллы опять растворились при той же температуре t. При этом мы заметим, что между отдельными кристаллами не было почти никакой связи, а если бы мы не хотели нарушить их взаимное расположение, то должны были оставить кристаллизующуюся соль охладиться ниже температуры t_0 и затем вторичным нагреванием до температуры t_0 опять получили бы жидкую массу. Того же



Фиг. 7

самого могли бы достигнуть и только одним повышением температуры. Разница только в том, что полученная по уничтожении кристаллов жидкость во всех трех случаях имеет различные температуры.

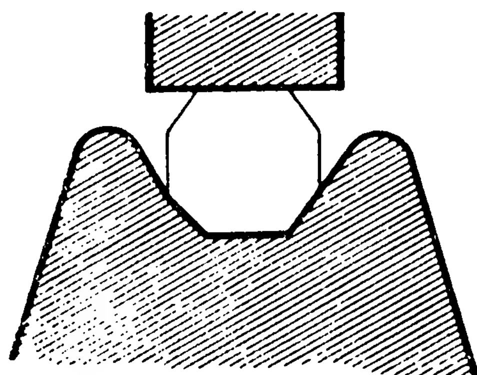
Переходя к стали, легко видеть, что перед ковкою следовало бы в данном случае опять возвысить температуру болванки, и, придав ей таким образом опять аморфное сложение, быстро и безостановочно ковать ее по всем местам, пока температура несколько понизится и способность к кристаллизации уменьшится; или же надо было привести все частицы начавшей кристаллизоваться массы в движение, соответствующее взбалтыванию, но так осторожно, чтобы начавшие уже образовываться кристаллы не распались, т. е. обковать самыми легкими ударами; так как при этом температура была выше b, то кристаллы слились бы в одну общую массу, кусок принял бы аморфное сложение и тогда уже можно было бы мять его, как кусок воска.

Лучше всего в таких случаях, конечно, дать *остыть перегретому куску спокойно и потом вновь разогреть его* и уже наблюсти, чтобы температура не была так высока, а следовательно, и сталь не получила бы возможности опять так же быстро из возвращенного ей аморфного состояния перейти в кристаллическое; ковка тогда не потребует уже такой предосторожности и болванка не развалится сама собой.

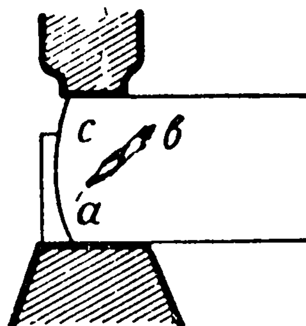
Я представлю вам, мм. гг., один из многих примеров порчи больших стальных болванок, относящихся к рассматриваемому нами случаю и происходящих от полного незнания нами свойств того материала, который обрабатываем.

При срезе конца одного машинного вала, 25 дюймов в диаметре, была встречена трещина ab, имевшая такое положение, как показано на чертеже (фиг. 7); пунктиром обозначено очертание частей болванки и трещины до затачивания шейки. Стенки этой раздвоившейся трещины были покрыты крупными, хорошо развитыми кристаллами, величина которых,

как вы можете видеть на образце, доходила до $^1/_2$ дюйма; между такими кристаллами лежали мелкие, величиною около $^1/_{10}$ дюйма. Кристаллы выходили из стенок только до половины и, при изломе кусков, по направлению, нормальному к этой кристаллической поверхности; продолжения кристаллов в металле уже не замечалось, излом показывал структуру хотя и кристаллическую, но вовсе не соответствующую этой поверхности, а одинаковую со структурою окружающих мест самой болванки. Поверхность стенок трещины имела чистый, неокисленный металлический вид с серебристым оттенком, как это видно на образце.



Фиг. 8



Фиг. 9

Болванка этого вала при ковке была перегрета таким же образом, как я сейчас объяснил, и вынута уже при начале группирования кристаллов; при первых ударах молота по концу ее, от недостаточности сцепления между кристаллами, часть *c*, принявшая непосредственно силу удара молота ‹фиг. 8›, отделилась от остальной и образовалась внутренняя наклонная пустота *ab* ‹фиг. 9›; при дальнейшей же ковке, от большого растяжения наружных слоев, пустота значительно увеличилась. Что при ударе по концу болванки сила его непосредственно принимается клиновою частью *c*, в этом можно убедиться собственными глазами, так как на тех местах болванки, в которых происходит выпучивание, сжатие или растяжение от ударов молота, быстро образуется темная рябь от отстающего в тех местах тонкого слоя окалины в виде мелких листочков. Впрочем, то же самое заключение должно быть выведено и из аналитического рассмотрения передачи удара в *c*. Вид кристаллической поверхности образца, как вы можете заметить, совершенно аналогичен с видом кусков от других перегретых болванок; разница в том, что поверхность эта осталась неокисленною, так как в пустоту не проникло окисляющее действие воздуха, когда болванка была в раскаленном состоянии [17].

Замечательно, что если вы перегретый кусок, принявший сильно кристаллическое сложение, так что он от малейших сотрясений распадается, оставите спокойно охладиться, то отдельные кристаллы, если только они не были разъединены внешними силами при нагретом состоянии, получают такую взаимную связь, так срастаются, что излом холодного куска происходит уже не по поверхности отдельных кристаллов, а безразлично чрез тело их, причем, однако, разъединение происходит преимущественно по плоскостям спайности, отчего такой излом всегда очень блестящ.

Отсюда видно, что плотного прилегания двух поверхностей однородного металла в раскаленном состоянии (однако выше точки *b*) достаточно,

---

[17] В статье г. Калакуцкого (Арт. журн., 1867, № 7, с. 1207) описан подобный же пример, но причина пустоты отнесена к охлаждению болванки после отливки в изложнице.

чтобы срастание произошло. Это и есть сварка, и если при сварке всегда необходима ковка, так только потому, что, во-первых, без ударов молота очень трудно сжать плотно два куска один с другим; а во-вторых, что иначе трудно освободить соприкасающиеся поверхности от шлаков, под защитою которых они только и могут оставаться неокисленными во время сварки. Конечно, чем однороднее куски, тем сварка их будет совершеннее, но одно из первых условий должно состоять именно в том, чтобы происходило возможно полное прикосновение неокисленных металлических поверхностей.

До сих пор мы рассматривали ковку стали только при температурах, высших, нежели отмеченная нами на шкале температура *b*, и сказали, что цель этой ковки должна состоять в изменении формы данного куска, но притом так, чтобы приводить постоянно все части его в движение и тем мешать кристаллизации стали, так как с развитием кристаллов сильно понижается прочность последней.

Взглянем теперь, какое значение имеет ковка стали при температурах, низших *b*.

Кусок литой стали в изломе представляет шероховатую поверхность, состоящую из группы как бы нагроможденных один на другой кристаллических обломков (так называемых зерен), вообще говоря, весьма неправильной формы. Рассматривая под микроскопом, легко заметить промежутки между группами зерен; при более внимательном наблюдении нельзя не заметить и промежутков между отдельными зернами, представляющими между собой различные сплетения и комбинации. Одним словом, сталь под микроскопом имеет более или менее рыхлое сложение, на первый раз как бы разрушающее доверие к приписываемой ей обыкновенно прочности. Я не будут входить в подробности относительно вида, величины и взаимности расположения зерен, — недостаток времени не позволяет мне сделать этого, — для меня важно только упомянуть, что между зернами во многих местах существуют промежутки, зазоры. Может явиться вопрос: куда деваются эти промежутки, когда сталь, будучи нагрета до температуры *b*, принимает аморфное сложение? По всей вероятности, при нагревании от *o* и до *b* расширение каждого отдельного зерна (представляющего сплошную массу) идет несравненно быстрее, нежели увеличение внешних размеров стального куска, так что момент принятия сталью аморфного состояния совпадает с тем моментом, когда атомы зерен, удаляясь один от другого, заполняют эти промежутки и только сила теплоты будет разделять их; понятна тогда и несжимаемость стали и невозможность уплотнить ее ударами молота, как бы велик он ни был.

Отсюда видно, что если мы хотим действительно уплотнить сталь, сблизить ее зерна между собой и таким образом привести их в более тесное сцепление, мы должны пользоваться этим тогда, когда не будет тому препятствовать сила теплоты, а это может случиться только при температурах, низших точки *b*.

Вот эта ковка, при температуре ниже аморфного состояния, и имеет назначение, которое мы привыкли приписывать ей обыкновенно. Ковки больших болванок ниже точки аморфного состояния никогда у нас не

бывает, и пушек никогда не куют и не ковали ниже этой точки, потому что точка аморфного состояния, как я уже сказал, лежит, например для пушечной стали, близ слабого красного каления, т. е. в таких пределах, ниже которых мы, при наших механических средствах, с большими болванками ничего сделать не можем; пришлось бы маленькую болванку ковать под самым большим молотом; например, такая несообразность была бы относительно технических средств, что 4-фунтовое орудие пришлось бы ковать под 35-тонным молотом; теперь же мы делаем так, что 4-фунтовое орудие куем под 3-тонным, а иногда под 5-тонным молотом, а 35-тонный молот употребляем для ковки 6, 8 и 9-дюймовых орудий, причем толщина литых болванок доходит до 40 дюймов; но если вы представите себе такую толстую болванку, нагретую ниже точки обыкновенного, неблестящего красного каления, то увидите, что все усилия молота будут тщетны, т. е. ковать пушку тогда едва ли будет возможно. В настоящее время ковка ниже точки аморфного состояния существует, но она имеет приложение только к ковке малых предметов, так, например, при изготовлении хороших клинков; конечно, и в этих случаях применяют ее только те немногие, которые ближе знакомы с влиянием теплоты на сталь.

Если данную литую болванку известной структуры нагревать не выше точки *b*, то все-таки в нагретом состоянии она будет той же структуры, как была взята из отливки; если она была кристаллизована, то в нагретом состоянии она будет состоять из тех же кристаллов, но уже значительно размягченных. Если вы теперь станете ковать этот кусок, то его кристаллы или зерна, сближаясь между собой, будут изменять свою форму, вытягиваться по одному направлению и сжиматься по другому и т. д. Уплотнение при этом так значительно, что в прокованных таким образом кусках я находил удельный вес до 8, чего никогда не встречал в кусках, прокованных при температурах выше *b*.

Ковка эта сообщает металлу большую чистоту звука, металл уже не так легко обрабатывается пилою, слабая серная кислота почти вовсе не действует на него и т. п. Что же касается абсолютного сопротивления, то, к сожалению, мне не удалось произвести надлежащих испытаний; нет сомнения, что оно значительно возрастает. Излом такого куска имеет шелковистый оттенок, и под микроскопом весьма трудно заметить границы отдельных зерен; они представляются уже в таком виде, как будто целая группа восковых шариков была сдавлена под сильным прессом. Если вы опилите и отшлифуете поверхность такого куска и затем погрузите в слабую серную кислоту, то по прошествии некоторого времени на поверхности появится рисунок, представляющий, вообще говоря, неправильное переплетение кривых линий. Величина появившихся узоров, их вид и т. д. зависят от степени развития кристаллов в данном куске, их вида, способа ковки и т. п. Я уже выше сказал, что как наклонность к кристаллизации, так и сама форма кристаллов и их взаимное расположение зависят от чистоты стали и тех условий, которые сопровождали отливку и остывание слитка; в высших сортах булата рисунок этот достигает замечательной красоты и правильности.

Причина узоров заключается в различной группировке атомов стали при кристаллизации, а именно, стенки кристаллов несколько плотнее массы (также, впрочем, кристаллической), заполняющей кристалл. Нагрейте узорчатый кусок до температуры *b* или несколько выше — после охлаждения вы уже не получите узора вытравлением.

Из всего сказанного выше, мне кажется, должна быть понятна причина исчезновения узора, и я не буду вдаваться в подробности по этому предмету.

Теперь я перейду к заключению и покажу, каким образом возможно полнее воспользоваться тем, что может дать стальной слиток.

Что касается ковки при температурах ниже точки аморфного состояния, то, как я уже сказал, мы могли бы изготовлять только мелкие орудия и то под самым большим молотом; больших же орудий, при настоящих механических средствах, изготовлять такой ковкой нельзя. Едва ли можно сомневаться, что такие орудия будут лучшие из всех, до сих пор имевшихся в артиллерии; самый прием их в службу облегчался бы обнаружением качества стали и степени проковки по виду вытравленных узоров, так как между теми и другими существует тесная связь.

Применяясь же к настоящим средствам наших сталепушечных фабрик, нужно стремиться достигнуть того, чтобы наши орудия были по возможности мелкозернистого сложения; для этого следует, как мы видели, после нагрева болванки до высокой температуры ковать ее до тех пор, пока она не остынет до температуры, обозначенной мною точкою *b*; тогда вместе с изменением куска в данную форму мы не дадим ему кристаллизоваться и по возможности приблизим структуру его к аморфной массе. Но если мы примем в соображение практические условия ковки толстых пушечных болванок, то увидим, что они заставят нас во многих случаях отступить от этого основного правила, и мы получим после ковки орудийную болванку в разных местах различного сложения и скорее крупного зерна, нежели мелкого.

Лучше и вернее мы придем к предположенной нами цели, если, *придав болванке нужную форму ковкой, сложение ее изменим в однородное аморфное при помощи нагрева, задержав его сейчас же быстрым охлаждением за температуру b*. Для этого, конечно, нужно окружить болванку после нагрева быстро охлаждающею средой.

Из всего вышесказанного видно, что мы, при одинаковой быстроте охлаждения, тем совершеннее задержим аморфное состояние в стали, чем менее перейдем при нагревании за температуру *b*, которую, следовательно, полезно определять для каждой болванки заранее.

Нагрев таким образом уже вполне откованную, а лучше уже нагрубо обточенную и просверленную орудийную болванку до температуры, несколько высшей *b* (которую заранее следует определить при помощи пирометра), следует погрузить ее по возможности скорее *в охлаждающую среду — будет ли то вода, масло или что другое* — и, охладив в ней болванку до температуры, несколько низшей *b*, оставить ее затем охлаждаться уже медленно, для того чтобы при дальнейшем охлаждении не осталось внутренних напряжений в металле.

Для того чтобы вы, мм. гг., могли видеть, какие изменения в структуре стали можно производить помощью подобных операций, я покажу три образца. Первый из них представляет обломок от того же куска болванки, как и другие два; на нем ясно видно то крупнокристаллическое рыхлое сложение, которое имела болванка, несмотря на то, что была сильно прокована под 35-тонным молотом. Второй обломок от той же болванки был нагрет немного выше красного неблестящего каления и потом охлажден на открытом воздухе; сличая излом этого куска с изломом первого, вы можете видеть, что между структурой того и другого нет ничего общего; прямое приложение одного куска к другому показывает, однако, что они составляли одно целое и что после того молот вовсе не касался их. Третий обломок той же болванки был нагрет до ярко-красного цвета и затем быстро погружен в воду; после охлаждения до красно-бурого цвета вынут из воды и охлажден на открытом воздухе; излом этого куска показывает, что в наружном слое около 0,1 дюйма толщиной аморфное сложение задержано совершенно, в средине же куска средняя величина зерна по измерению под микроскопом — 0,0004 дюйма, тогда как средняя величина зерен в первом куске 0,15, а во втором 0,005 дюйма. К этому еще прибавлю, что для того, чтобы разломить первый кусок, достаточно было одного удара ручным молотом; чтобы разломать второй, нужно было сделать пять таких же ударов, а третий кусок сломан был под паровым молотом, потому что силы кузнеца было для того недостаточно.

Подобный же опыт был сделан с бандажом для вагонных колес. Кусок от обыкновенного бандажа был разломан под 5-тонным молотом на три части; один из этих кусков был нагрет до светло-красного цвета, потом брошен на пол охлаждаться на открытом воздухе до обыкновенной температуры и после охлаждения он был положен под молот; нужно было четыре сильных удара того же 5-тонного молота, чтобы сломать его, тогда как для перелома первого куска достаточно было одного удара. Третий кусок я нагрел до ярко-красного цвета, быстро погрузил в воду и вынул при темно-буром калении, потом сломал под молотом, но для этого потребовалось пять сильных ударов.

Итак, я говорю: для того чтобы задержать аморфное состояние и тем увеличить сопротивление болванки, нужно погрузить ее после нагрева в воду. Можно было бы погружать и в масло, но, во-первых, это дорого, а во-вторых, много надо предосторожностей, чтобы масло не загорелось.

Относительно опускания в воду я должен прибавить, мм. гг., что теплопроводность металла в раскаленном состоянии довольно мала для того, чтобы, погрузив кусок стали в воду и заметив, что поверхность охладилась до темно-бурого цвета, вы могли сказать, что он и в середине имеет ту же температуру, а потому при этом нужно руководствоваться опытностью и соблюдать многие предосторожности, чтобы чрезмерным охлаждением наружных слоев не развить в них внутренних напряжений.

Однако я воздержусь входить в подробности относительно выполнения всего того, что было мною сегодня высказано; это завлекло бы нас слиш-

ком далеко, и я покончу замечанием, что, по моему мнению, необходимо подвергать предложенной мной операции не только все стальные артиллерийские орудия, но и вообще все изделия из стали, как, например, вагонные и локомотивные оси, бандажи, машинные валы и т. п.

Из сказанного мною также легко видеть, что всякую стальную вещь, потерявшую значительную долю прочности на службе, т. е. принявшую кристаллическое сложение от продолжительных сотрясений (как, например, старые вагонные оси, машинные валы и т. п.), при помощи этой операции можно *возобновить совершенно*, придав ей если не аморфное, то весьма близкое к тому сложение, а вместе с тем такую прочность и вязкость, какой, может быть, она не имела при самом вступлении на службу.

Надеюсь, что теперь очень легко объяснить все те обстоятельства, которые я привел в самом начале моего сообщения.

Я с удовольствием услыхал от одного из моих товарищей, на днях возвратившегося из Англии, что в Вуличском арсенале принят способ нагревать болванки после их ковки и грубой отделки и опускать в масло; он не мог мне сообщить подробностей этой операции, так как заметил это мимоходом; относительно же цели этой операции ему удалось узнать, что стали придается этим способом большая вязкость.

Быть может, в скором времени я получу сведения о том, какие соображения привели их к употреблению такого способа, и мне было бы в высшей степени приятно слышать, если соображения эти те же самые, как и высказанные мною сегодня перед вами.

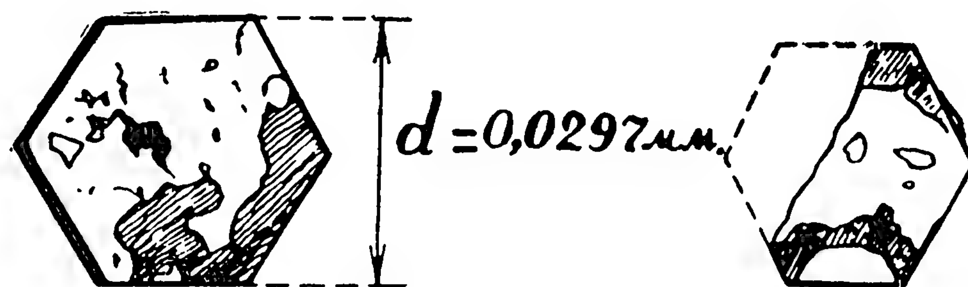
Что касается вообще до проводимых мною идей, то я уже получил упреки в том, что слишком смело высказываю свои выводы; но пусть же я покажусь еще смелее и выскажу окончательное заключение из своих наблюдений в следующих словах: *вопрос о ковке стали при движении его вперед не сойдет с того пути, на который мы его сегодня*, мм. гг., *поставили.*

ПРИЛОЖЕНИЕ*

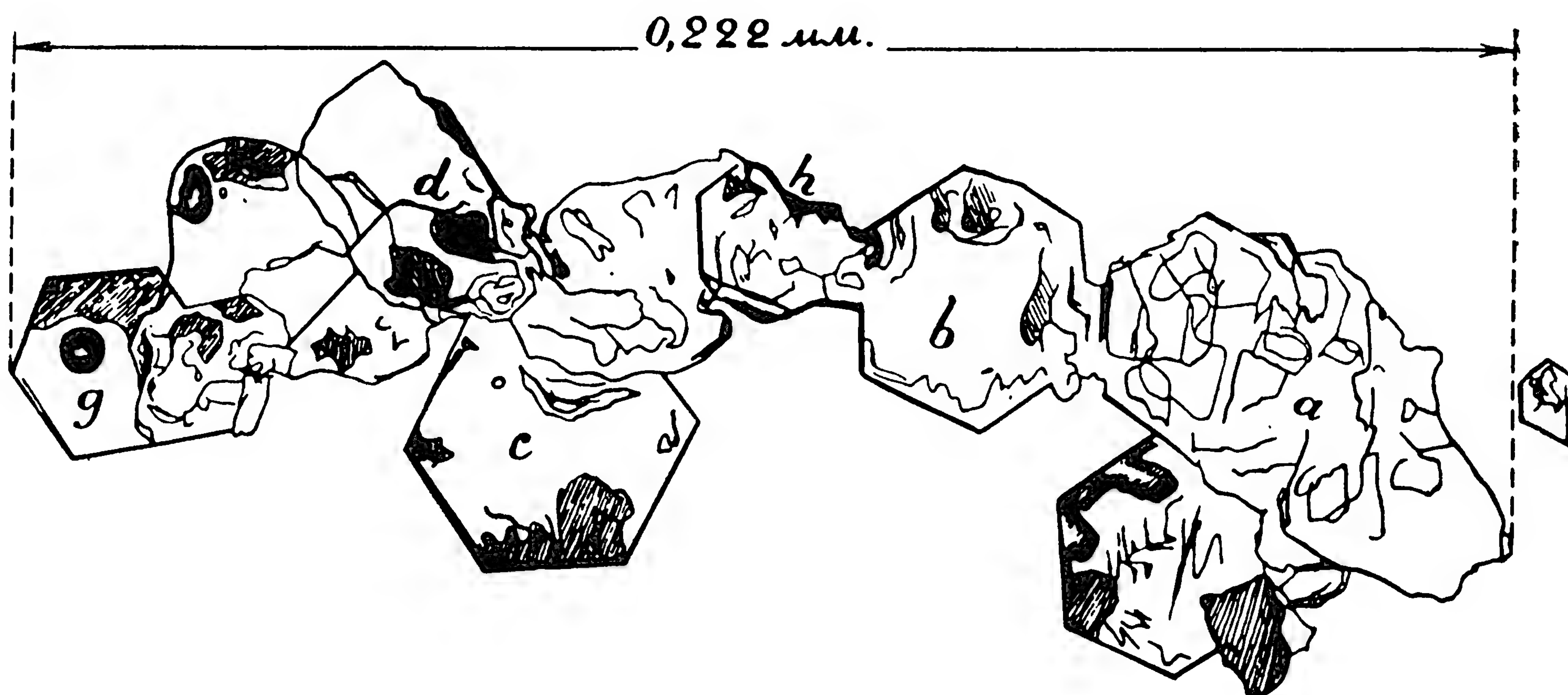
Прилагаемые рисунки были сделаны мною от руки при помощи камеры-люциды и микроскопа Hartnack'а в период 1868—69 годов. Рисунки 1, 2 и 3 (табл. I) особенно замечательны — они представляют выделения в усадочных раковинах, образовавшихся в слитке твердой инструментальной стали, расплавленной в тигле и медленно в нем охлажденной в самой печи.

Во время охлаждения образовались в болванке раковины, как усадочные, так и пузыристые; стенки этих раковин покрылись древовидными ростками; на этих ростках я нашел микроскопические кристаллы в виде

* Это приложение не было опубликовано в России; оно явилось в печати на английском языке в виде дополнения к вышеизложенному докладу Д. К. Чернова и переведено с рукописи, присланной автором В. Андерсону в 1875 г.; на русском языке оно было напечатано впервые П. Семенченко-Даценко в 1901 г. в его переводе с французского доклада Д. К. Чернова.



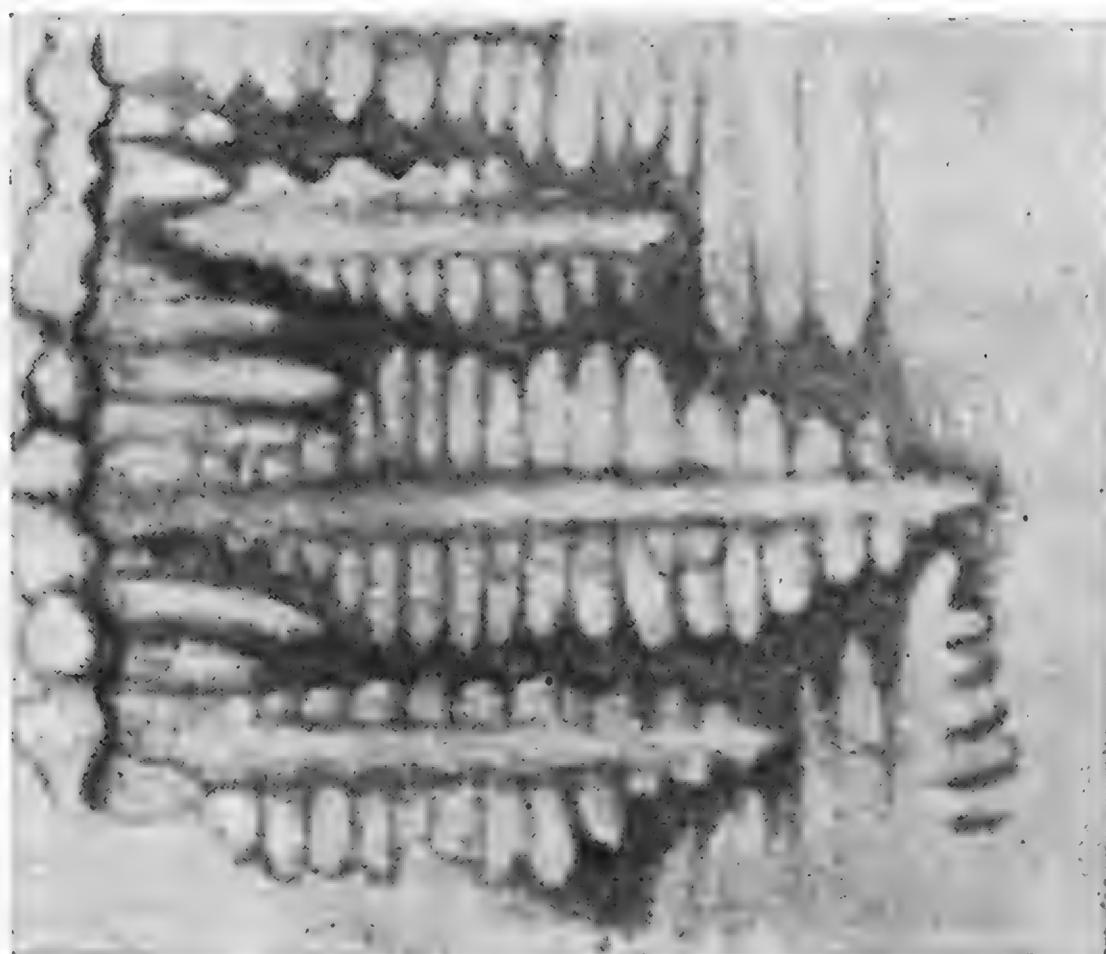
Фиг. **1.** Увелич. = 550



Фиг. **2.** Увелич. = 550

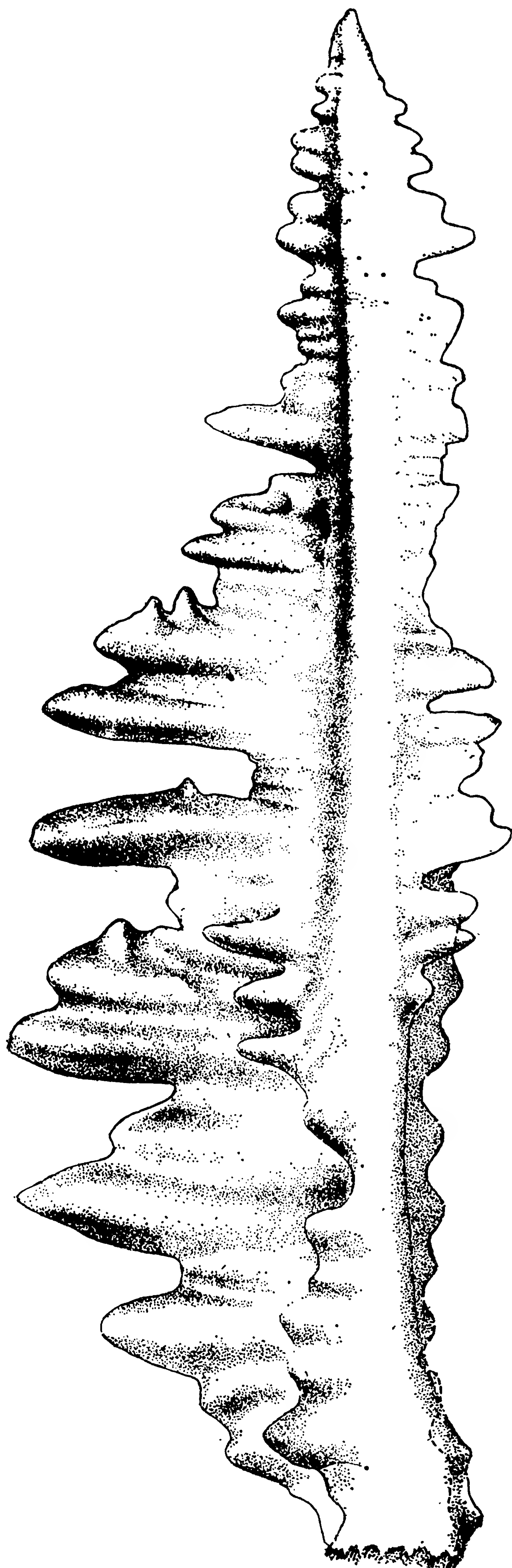


Фиг. **3.** Увелич. = 165



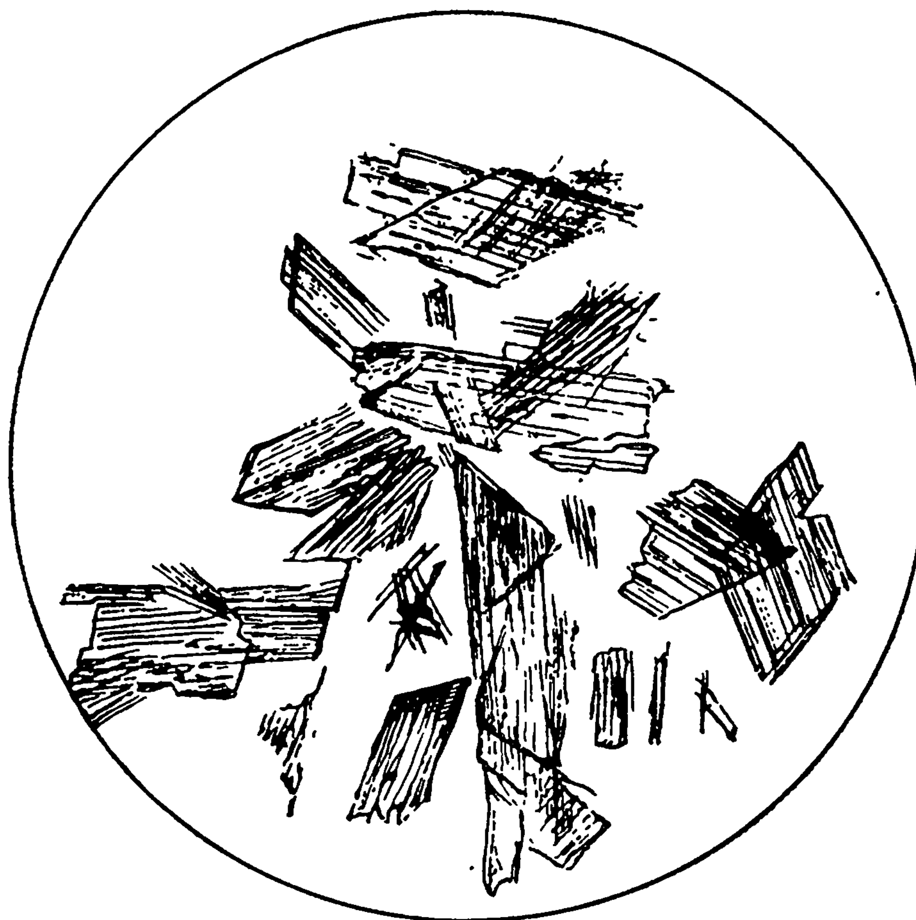
Фиг. **5.** Увелич. = 165

Таблица I



Фиг. 4. Увелич. = 159





Фиг. 6. Увелич. = 155



Фиг. 7. Увелич. = 150

тоненьких прозрачных шестиугольных пластинок, обладающих значительной преломляемостью световых лучей, при этом они были очень тверды и чертили стекло; правильная шестиугольная форма этих кристаллов заставила меня сначала предположить, что они принадлежали к гексагональной системе, но, пропустив поляризованный свет сквозь эти пластинки, я не мог найти в них ни малейших следов поляризации, что заставляет полагать, что кристаллы эти принадлежат к правильной системе и представляют заурядный случай октаэдров, деформированных ненормальным развитием двух противоположных плоскостей, которые, таким образом, и образуют пластинки правильной гексагональной формы. Аналогичная деформация часто случается в квасцах и в азотнокислом свинце. Я собрал небольшое количество этих кристаллов при помощи иглы под микроскопом и сохранил их между стеклянными пластинками; я охотно доверю их каждому, кто пожелал бы сделать точный химический анализ.

Фиг. 1-я представляет один из этих обособленных кристаллов; потребовалось целых два дня, чтобы его извлечь из раковины и перенести на стекло, так как при этом приходилось почти не дышать во время извлечения и переноса, ибо малейшее движение воздуха сдувало его с острия иголки, и затем отыскать его вновь было чрезвычайно трудно и долго. Очень редко случалось видеть, чтобы кристаллы представлялись изолированными; вообще же они образуют группы, как на фиг. 2-й. В точках *a*, *d*, *h* кристаллы нагромождены одни на другие в несколько рядов в толщину и производят впечатление неясных и неправильных форм; в точках *b*, *c*, *e*, *g* — напротив, один слой, и ясно видно, что это пластинки гексагональной формы; размеры на фигуре 1-й показывают, насколько величина этих кристаллов мала; в толщину они имеют очень малые размеры, так как при увеличении в 550 раз определить их было невозможно.

3-я фиг. представляет часть поверхности ростка со стенки раковины; на этой поверхности видно нечто вроде выпотения какого-то прозрачного твердого вещества, которое, вероятно, есть то же самое, что и в пластинках, а может быть и что-либо другое; этот вопрос очень трудно решить.

Фиг. 4-я представляет общую форму ростков на стенках усадочных раковин, образующихся под влиянием сжатий объема стали при отвердевании, а иногда и на стенках пузырей.

Фиг. 5-я представляет вид кристаллообразных ростков, встречающихся в мелких усадочных раковинах литой болванки твердой стали. Все эти ростки кажутся имеющими гладкую поверхность, блестящую, как зеркало.

Фиг. 6-я представляет остаток после растворения стали в разбавленной азотной кислоте. Этот остаток, вероятно, водный кремнезем, он имеет темно-желтый цвет.

Различные части остатка имеют вид маленьких пластинок и в совокупности напоминают излом стали, взятой для растворения. Изучение этих остатков весьма интересно и может облегчить решение многих вопросов о составе и структуре стали.

Фиг. 7-я представляет рисунок двух зерен на поверхности излома куска твердой некованой стали, но с ясно кристаллическим строением.

2[1*]

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТАЛИ И СТАЛЬНЫХ ОРУДИЙ[1]

(Сообщение и<мп>. Р<усскому> т<ехническому> о<бществ>у 23 ноября 1868 г. и прения, вызванные им)

Д. К. Чернов, повторяя вкратце главнейшие положения, выведенные из своих исследований, выразил главным образом убеждение в том, что сопротивление одной и той же стали весьма разнообразно и колеблется между весьма широкими пределами, — все зависит от сложения (структуры) данного куска,—и что если мы хотим сравнивать два сорта стали, то должны это делать, только убедившись в одинаковости их сложения. Чем более преобладает кристаллическое сложение в данном куске, тем менее в нем вязкости, прочности и проч., одним словом, тем ниже его качества.

При этом г. Чернов полагает, что сопротивление данного куска при известном сложении будет одно и то же, каким бы путем ни было достигнуто это сложение, т. е. будет ли кусок прокован или нет — все равно.

Степень развития кристаллов зависит от меньшей или большей быстроты охлаждения стали, после нагрева выше температуры перехода ее в аморфное состояние, и от большего или меньшего удаления температуры нагрева от этой точки по направлению к точке плавления стали.

Для подтверждения этих выводов г. Чернов сослался на цифры, полученные им при испытании нескольких образцов прежде, и представил вновь два испытанных им образца стали, приготовленных из одного и того же куска следующим образом:

Круглый кусок, около $3^{1}/_{4}$ дюйма в диаметре и 8 дюймов длиной, был нагрет до светлого оранжевого каления равномерно во всех местах, прокован одинаково по всей длине до диаметра $1^{1}/_{2}$ дюйма; ковка была прекращена при светлом красном калении, и кусок оставлен для медленного охлаждения в сухом песке. После охлаждения он был разломан пополам и одна половина была обработана следующим образом: нагрета до температуры, несколько высшей b (по шкале г. Чернова), и тотчас погружена в воду, вынута оттуда при буром калении и оставлена охлаждаться в сухом песке.

Обе половины были обточены в пробные образцы и испытаны на разрыв.

Длина испытуемой части первого куска была $=5'',8$, диаметр ее $0'',80$; нагрузка началась с 4680 англ. фунтов и каждый раз прибавлялось по 3120 фунтов; груз 42 120 фунтов поднимался образцом хорошо, но при следующей прибавке образец разорвался, вытянувшись ровно по всей длине.

---

[1] Зап. и<мп>. Русск<ого> техн<ического> о<бщест>ва, 1868, ноябрь—декабрь, с. 517—527.

Принимая последний поднятый образцом груз за разрывающее усилие, получим сопротивление образца в 38 *т* на кв. дюйм. Удлинение при этом составляло 0,0707; таким образом, динамическое сопротивление одного кубического дюйма приблизительно равно 83 пудо-дюймам.

Длина испытуемой части второго куска была 6″,3, а диаметр 0″,80, нагрузка велась точно так же, как и при испытании первого образца. Груз 57 720 англ. фунтов поднимался образцом хорошо, но при следующей прибавке образец разорвался; перед самым разрывом образовался пережим близ средины испытуемой части.

Принимая груз 57 720 фунтов за разрывающее усилие, получим сопротивление образца в 52 *т* на кв. дюйм. Удлинение при этом грузе составляло 0,077; следовательно, динамическое сопротивление одного куб. дюйма приблизительно равно 124 пудо-дюймам.

Основываясь на своих исследованиях, г. Чернов предложил испытать способ приведения стали в аморфное состояние над 4-фунтовою пушкою, полагая тем увеличить прочность орудия, так как целая партия 4-фунтовых орудий, изготовленных на Обуховском заводе, была сложена в сарай за неудовлетворительностью результатов пороховой пробы над несколькими орудиями этой партии.

Для того чтобы дать возможность сделать приблизительную оценку этого способа улучшения качеств стали, г. Чернов сообщил сперва результаты прежних испытаний над 4-фунтовыми орудиями.

Орудия № 24 и *44*. Калибр 3″,37, наружный диаметр 4″,85, снаряд стальной весом около 14 фунтов, зазор 0″,03.

№ 24:	2 боевых выстрела	зарядом	в	$1^1/_2$	ф⟨унта⟩
	1 ⟨боевой выстрел⟩	»	»	2	»
	2 ⟨боевых выстрела⟩	»	»	3	»

Орудие разорвалось.

№ 44:	1 боевой выстрел	зарядом	в	$1^1/_2$	ф⟨унта⟩
	2 ⟨боевых выстрела⟩	»	»	2	»
	1 ⟨боевой выстрел⟩	»	»	3	»

Орудие разорвалось.

Полагая, что незначительная величина зазора между снарядом и стенками канала была одной из главных причин такого разрушительного действия трехфунтового заряда, дальнейшую пробу стали производить чугунными снарядами с цинковыми выступами, весом около $13^1/_2$ фунтов при диаметре снаряда 3″,2.

№ 28. До окончательного высверления канала отожжено и охлаждено холодной водой изнутри канала.

10	боевых выстрелов	зарядом	в	$1^1/_2$	фунта
5	»	»	»	2	»
5	»	»	»	$2^1/_2$	»
1	⟨боевой выстрел⟩	»	»	$2^3/_4$	»

Орудие разорвалось.

При отжигании этого орудия не имелись в виду исследования г. Чернова и самое существенное условие успеха отжигания, т. е. температура *b* не была достигнута при нагревании; как видно, операция эта скорее повредила прочности, так как орудие не выдержало даже заряда в $2^{3}/_{4}$ фунта, и, как полагает г. Чернов, оставив крупнозернистое сложение металла, сообщила ему некоторую закалку и тем отняла последнюю вязкость.

№ 135.	1	боевой выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
	1	»	»	»	2	»
	1	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
	1	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»
	10	‹боевых выстрелов›	»	»	3	»

Орудие разорвалось.

Наружный диаметр оставлен на 1 дюйм больше остальных орудий.

№ 138.	1	боевой выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
	1	»	»	»	2	»
	1	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
	1	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»
	6	‹боевых выстрелов›	»	»	3	»

Вследствие значительного расширения канала дальнейшая проба приостановлена.

№ 142.	1	боевой выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
	1	»	»	»	2	»
	1	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
	1	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»
	2	‹боевых выстрела›	»	»	3	»
	1	‹боевой выстрел›	»	»	2	»
	2	‹боевых выстрела›	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
	1	‹боевой выстрел›	»	»	3	»

Замечено расширение канала на $6^{1}/_{2}$ точек, и потому проба прекращена.

№ 139.	1	боевой выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
	1	»	»	»	2	»
	1	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
	1	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»
	6	‹боевых выстрелов›	»	»	3	»

Орудие разорвалось.

№ 56. Перед окончательною подготовкою к пробе отожжено и потом закалено.

1	боевой выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
1	»	»	»	2	»
1	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»

Орудие разорвалось.

Излом показал, что температура *b* не была достигнута при отжигании, а сверление показывало, что температура *a* была перейдена, т. е. то же самое, что и у орудия № 28.

№ 6. Казенная часть скреплена тремя стальными кольцами, надетыми с натяжением 0",03.

2	боевых	выстрела	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта
2	»	»	»	»	2	»
1	‹боевой	выстрел›	»	»	$2^{1}/_{2}$	»
1	»	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»
6	‹боевых	выстрелов›	»	»	3	»

Затем дальнейшая проба прекращена, так как канал расширился на 6 точек; первое кольцо от клиновой части лопнуло и разошлось на $^{1}/_{8}$ дюйма.

Данные в распоряжение г. Чернова 4-ф‹унтовые› орудия № 18 и 21 были нагреты до температуры, несколько высшей *b*, и тотчас быстро охлаждены за эту температуру, потом оставлены медленно охлаждаться в сухом песке. Пороховая проба дала следующие результаты.

№ 18. Диаметр канала 3″,41, наружный диаметр 7″,85; диаметр ядра 3″,2, следовательно, зазор между поверхностью канала был больше, нежели у остальных орудий, но зато выступы, занимающие 0,63 окружности ядра, имели такой же зазор, как и у остальных.

5	боевых	выстрелов	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта	
1	‹боевой	выстрел›	»	»	2	»	
1	»	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»	
1	»	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»	
21	»	»	»	»	3	»	
1	»	»	»	»	$3^{1}/_{2}$	»	
20	‹боевых	выстрелов›	»	»	4	»	
5	»	»	»	»	4	»	с двумя снарядами

Диаметр канала после этой пробы увеличился на $4^{1}/_{4}$ точки[2] в расстоянии 50″ от дульного среза. (Подробности обмера помещены в прилагаемой таблице) ‹табл. 1›.

№ 21. Диаметр канала около 3″,364, наружный диаметр 7″,75.

1	боевой	выстрел	зарядом	в	$1^{1}/_{2}$	фунта	
1	»	»	»	»	2	»	
1	»	»	»	»	$2^{1}/_{2}$	»	
1	»	»	»	»	$2^{3}/_{4}$	»	
21	»	»	»	»	3	»	
1	»	»	»	»	$3^{1}/_{2}$	»	
20	‹боевых	выстрелов›		»	4	»	
5	»	»	»	»	4	»	с двумя снарядами

Диаметр канала в расстоянии 50″ от дульного среза увеличился на $5^{1}/_{8}$ точки. Подробности обмера помещены в прилагаемой таблице ‹табл. 2›.

Затем г. Чернов показал нарочно приготовленные образцы, представляющие наиболее характеристические моменты в обработке стали. Так, например, несколько образцов литой некованой стали, из которых один особенно замечателен сильным развитием кристаллического сложения

[2] Считая от первоначального обмера не совсем гладкого канала. Из таблиц, однако, видно, что каналы обоих орудий в поясе около 50″ от дульн‹ого› среза, сгладившись при выстрелах зарядом в 3 фунта, оставались почти без дальнейшего расширения до самого конца этой усиленной пробы. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

‹Таблица 1›

Для орудия № 18

Выписка из журнала, веденного при пороховой пробе 4-фунтового орудия № 18 на Обуховском сталелитейном заводе

Калибр 3″,42; наружный диаметр 7″,85; обмер до пальбы — 1

Расстояние от дульного среза	Последние десять выстрелов зарядом в 3 фунта										Выстрел зарядом в 3 1/2 фунта	Выстрелы зарядом в 4 фунта						
47″	−1/4	—	—	−3/8	−1/2	−3/8	—	−1/4	−3/8	−1/2	−3/8	—	−1/4	−1/8	−1/4	—	—	−1/8
48″	−1/8	0	+1/8	−1/8	0	0	0	0	0	+1/8	−1/4	−1/8	0	0		0	+1/8	—
49″	+3/4	1 1/4	—	1	1 1/4	1	1 1/8	1 1/4	—	1 5/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	—	—	—	1 1/4	1 3/8
50″	+1 3/8	2	—	1 5/8	2 3/8	—	—	2 1/2	—	3 3/8	3	2 7/8	3	—	—	—	2 5/8	—
51″	+5/8	1	—	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1	—	—	1 5/8	1 7/8	1/2	—	—	—	1 5/8	1 3/8
52″	+1/4	1/2	3/8	1/4	1/2	5/8	—	1/2	—	7/8	—	3/4	7/8	5/8	3/4	—	7/8	3/4
53″	0	0	0	0	0	+3/8	—	0	3/8	1/4	1/2	1/4	3/8	1/8	3/8	—	1/2	1/4
54″	−1/8	—	−1/8	−1/8	0	0	0	−1/8	0	0	+1/8	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 1 (*продолжение*)

Расстояние от дульного среза	Выстрелы зарядом в 4 фунта													Выстрелы зарядом в 4 фунта с двумя снарядами				
47″	—	—	0	−1/8	0	0	0	+1/8	—	—	0	0	1/8	0	0	0	0	0
48″	1/4	—	—	—	3/8	1/4	3/8	1/2	3/8	5/8	3/8	1/4	0	1/4	—	3/8	1/2	3/8
49″	1 1/4	1 1/2	—	1 5/8	1 3/4	1 5/8	—	—	—	—	—	1 1/8	1 1/4	1 5/8	—	—	1 3/4	1 5/8
50″	2 1/8	3	—	—	3 1/4	3 1/8	—	—	—	—	—	—	—	3 1/4	3 1/8	3 1/4	—	—
51″	—	1 1/2	1 3/4	1 5/8	1 7/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	—	—	1 3/4	1 5/8	1 3/4
52″	—	7/8	1	7/8	1	—	—	—	—	—	7/8	1	—	7/8	3/4	—	—	—
53″	—	3/8	1/2	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	1/4	3/8	—	—	1/8	3/8	1/4
54″	0	1/8	0	—	1/4	1/8	−1/4	—	—	1/8	—	0	0	0	0	1/8	0	0

В сотых долях дюйма

Для орудия № 21

Выписка из журнала, веденного при пороховой пробе 4-фунтового орудия № 21 на Обуховском сталелитейном заводе

Калибр 3",37; наружный диаметр 7",75

Расстояние от дульного среза	Обмер до пальбы	Двенадцать последних выстрелов зарядом в 3 фунта												Выстрел зарядом в 3 1/2 фунта	Выстрелы зарядом в 4 фунта				
46"	—1/2	—3/8	—	—	—	—	—1/8	0	0	0	0	0	0	+1/8	0	+1/4	—	3/8	
47"	—1/2	—1/8	0	0	0	0	+3/8	1/2	—	—	—	—	—	3/4	1/2	7/8	—	—	1/2
48"	—5/8	+3/8	1/4	—3/8	1/2	5/8	1 1/8	1 1/4	—	1 1/8	1 1/4	—	—	1 1/2	1 1/4	1 1/2	—	—	1
49"	—5/8	+1 1/2	—	1 7/8	2 1/4	2 3/8	3	—	—	—	3 1/8	3	—	—	—	—	—	—	—
50"	—1/2	+2 1/2	2 1/4	2 3/8	3	—	3 3/4	3 5/8	4	—	—	—	—	4 1/8	4 1/4	4 3/8	—	—	—
51"	—5/8	+2 3/8	—	—	2 3/4	—	3	—	3 1/4	3	—	3 1/8	3 1/4	3 1/2	—	—	3 3/8	3 1/2	—
52"	—3/4	+1 5/8	1 3/4	—	2	—	—	—	2 1/4	—	2 1/8	2 3/8	—	2 1/2	—	—	—	—	—
53"	—7/8	+7/8	1	7/8	—	1	—	1 1/8	1 1/4	—	—	—	1 1/2	—	—	—	1 5/8	1 1/2	1 5/8
54"	—1	0	0	+3/8	—	1/4	—	—	—	—	—	3/8	1/2	—	—	—	5/8	1/2	5/8
55"	—7/8	—3/4	—5/8	—1/2	—5/8	—	—	—	—1/2	—	—	—3/8	—1/4	—	—	—	—	—	—1/8

Таблица 2 (*продолжение*)

Расстояние от дульного среза	Выстрелы зарядом в 4 фунта															Выстрелы зарядом в 4 фунта с двумя снарядами				
46"	5/8	—	7/8	5/8	7/8	—	1	—	—	—	—	—	—	1 1/8	—	1 1/4	—	—	1 3/8	—
47"	1 1/4	—	—	1 3/8	—	—	1 1/2	—	—	—	—	—	1 5/8	—	1 1/2	2	—	—	—	—
48"	1 5/8	—	1 3/4	1 7/8	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 1/4	2 3/8	2 1/4	—	2 1/2
49"	3 1/4	3	3 1/2	3 3/8	3 1/2	3 3/8	3 3/4	3 1/2	3 5/8	3 1/2	—	3 5/8	—	—	3 1/2	—	3 5/8	3 1/2	—	3 3/8
50"	—	—	—	—	4 1/2	—	—	—	—	—	—	4 1/4	4 1/2	—	—	—	4 5/8	—	4 1/2	4 5/8
51"	3 3/8	—	—	3 5/8	3 1/2	3 5/8	3 1/2	—	—	3 5/8	3 1/2	—	—	—	—	—	—	—	—	3 5/8
52"	—	—	2 5/8	—	2 1/2	2 5/8	2 1/2	2 5/5	2 3/4	2 5/8	2 3/4	2 5/8	—	2 1/2	2 3/4	2 5/8	—	2 1/2	2 5/8	—
53"	1 1/2	1 5/8	1 1/2	1 5/8	—	1 3/4	—	1 5/8	1 3/4	—	—	—	—	1 5/8	—	1 3/4	1 1/2	1 5/8	—	—
54"	—	—	1/2	3/4	1/2	3/4	—	—	—	—	—	—	—	5/8	3/4	—	—	—	—	—
55"	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В сотых долях дюйма

Примечание. Знак — означает повторение отметки, стоящей с левой стороны. Числа таблицы представляют разности между колибром и действительными диаметрами канала (в различных расстояниях от дульного среза) по вертикальному направлению. Знак + распространяется на все числа, стоящие от него вправо.

от чрезвычайной медленности охлаждения в самом тигле; образец некованой стали кристаллического сложения и обломок от него, подвергнутый операции задержки аморфного состояния, причем сложение его изменилось в чрезвычайно мелкозернистое; также несколько образцов кованой стали.

Председатель. Нам было бы интересно знать, как производилось нагревание орудий.

г. Чернов объяснил это следующим образом. Для этой операции устроена была особенная печь, в которую орудие опускалось вертикально на подставленное кольцо: эта печь помещена была в яме, вырытой возле крана; печь разогревали докрасна, а самую пушку разогревали предварительно вне печи слабым огнем до тех пор, пока она нагрелась приблизительно до 300° в замочном утолщении; потом пушку опускали в печь и доводили до красного каления; по вынутии из печи пушка была также вертикально опущена в железный резервуар, наполненный льняным маслом и вставленный в другой резервуар, в котором циркулировала холодная вода; в масле орудие оставалось не более $^1/_2$ минуты, чтобы его сильно не охладить и не закалить, а только перевести за точку b и задержать в стали аморфное состояние, так что болванка выходила из масла темно-бурого цвета, засыпалась песком и медленно охлаждалась, так как ниже температуры b сталь уже не переменяет своего сложения.

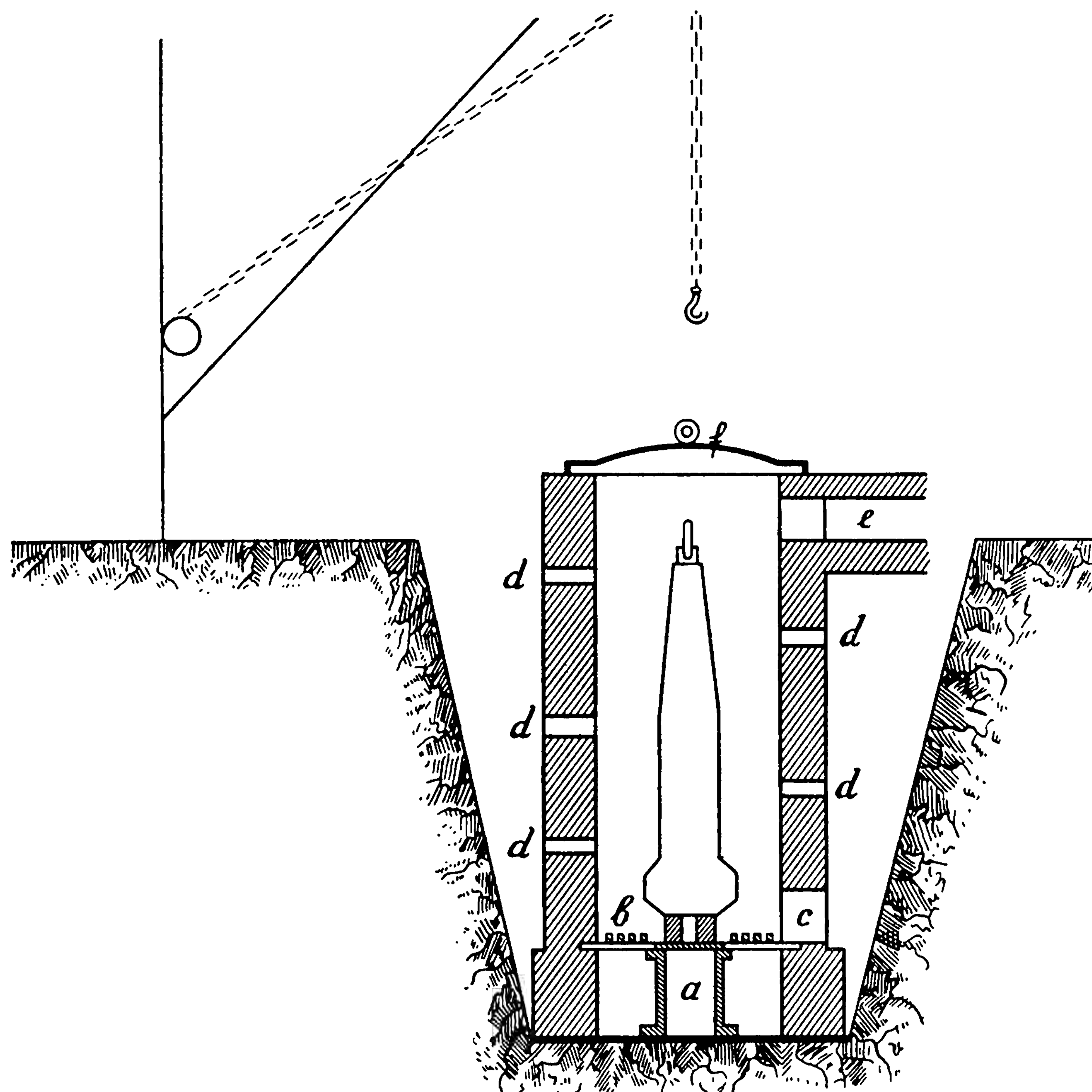
Для того чтобы масло могло циркулировать в канале орудия, замочное утолщение просверливалось насквозь отверстием $2^1/_4$ дюйма в диаметре, которое потом для пороховой пробы запиралось винтом.

На фиг. 1 и 2 показано положение орудия в печи и в холодильнике, а на фиг. 3 и 4 показан способ привеса орудия к крану.

На фиг. 1 a означает чугунный стул под орудие; на нем лежит железное кольцо; b — кольцевые колосники; c — окно для направления орудия при опускании в печь, для поправки, для топлива и т. п.; d — очелки[2*] для наблюдения за нагревом; e — боровок, отводящий газы в дымовую трубу; f — железная крышка. На фиг. 2: a — железный резервуар, наполненный маслом; b—железный резервуар, наполненный водой; c — трубка, проводящая из бака холодную воду; d — сточный желоб.

На фиг. 3 и 4: a — болт, пропущенный сквозь отверстия в шейке орудия; b — железная серьга, подхватывающая почти под всю свободную часть болта a, чтобы он менее прогибался; серьга в середине сжата, чтобы верхнее ушко ее не опускалось на болт a, когда отнят крюк c; d —конец дула орудия.

Затем г. Чернов сказал несколько слов относительно ковки стали и о том значении, какое он ей приписывает. Необходимость проковки стальной орудийной болванки, сказал он, обусловливается именно тем, что мы не умеем еще хорошо отлить из стали болванку; внутренность ее содержит обыкновенно усадочные пустоты, а с наружной стороны она усеяна раковинками от газовых пузырьков, составляющих как бы ноздреватую корку; вследствие того болванку отливают гораздо короче и толще, чем следует быть орудию, и затем, сжимая пустоты под ударами молота, растягивают ее, причем как наружный, так и внутренний ноздреватый



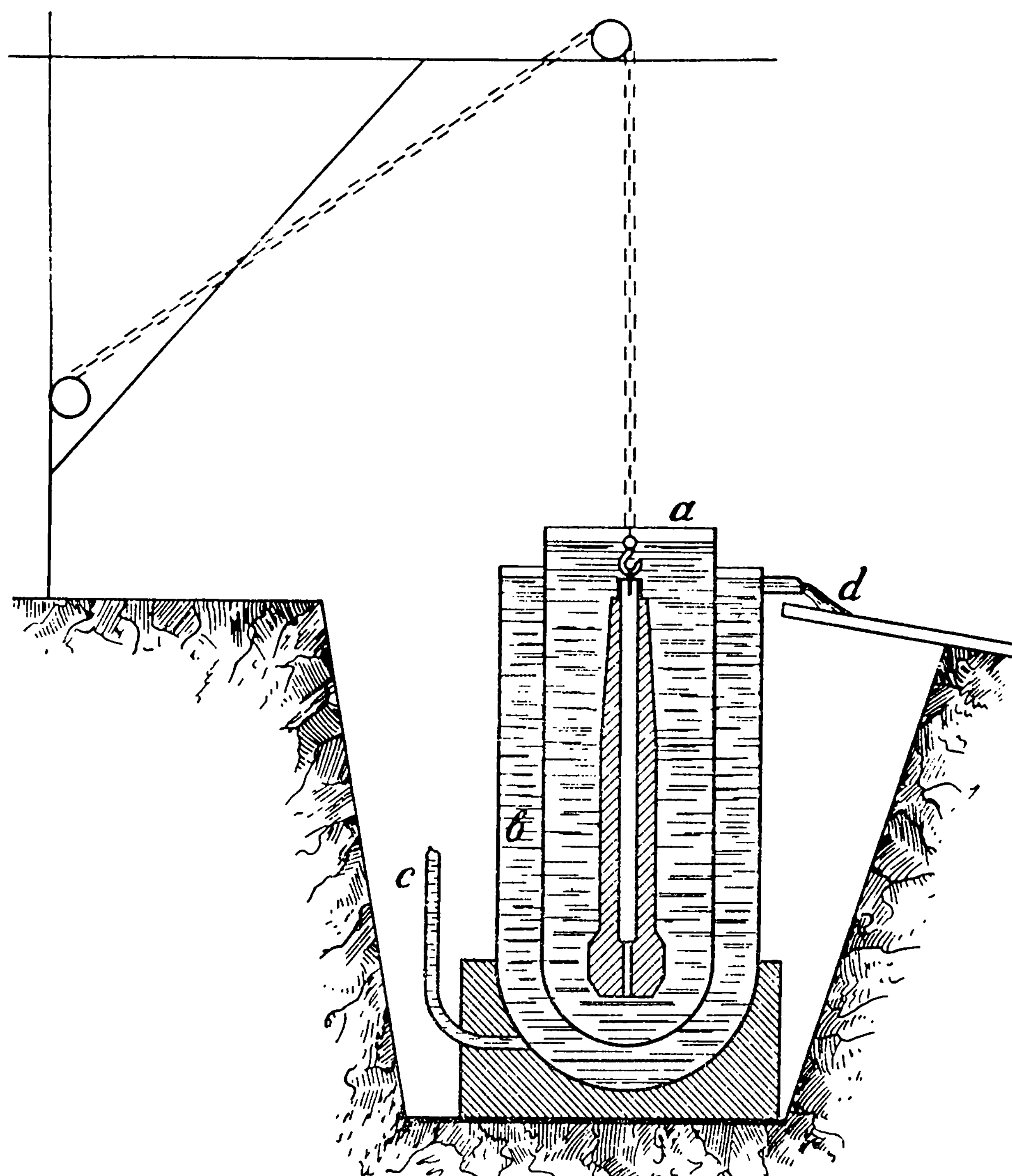
Фиг. 1

слой, становясь длиннее, делается тоньше, а потому легче снимается с орудия при обточке и вынимается из него сверлом.

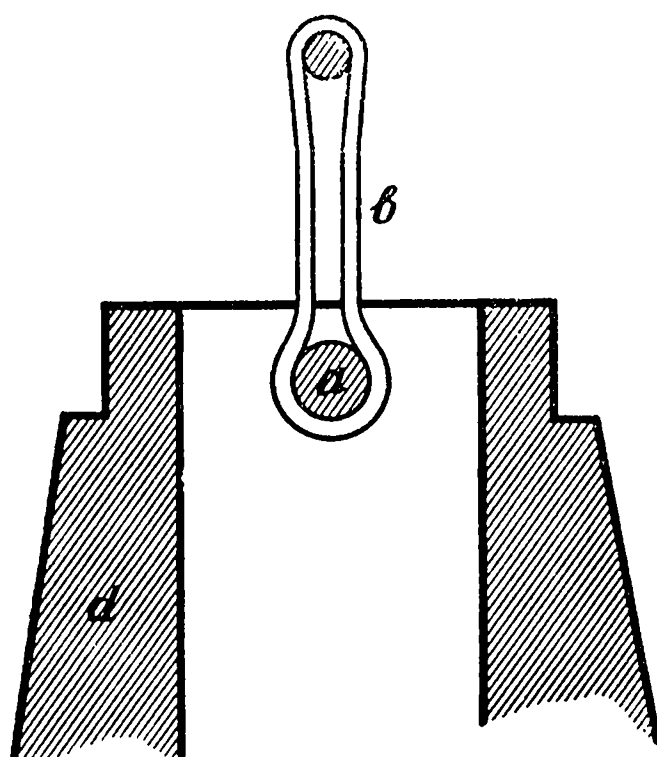
Можно поэтому сказать, что ковка сохранится до тех пор, пока мы не выучимся хорошо отливать орудия так, как это делаем, например, из бронзы или из чугуна.

Председатель. Напечатанное уже в наших «Записках» и теперь выслушанное сообщение г. Чернова заключает в себе три части: критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого, некоторые теоретические воззрения автора и, наконец, практические результаты его исследований. Оставляя в стороне критическую часть, я считаю нужным обратить Ваше внимание на две последние и предложить сделать на них свои замечания.

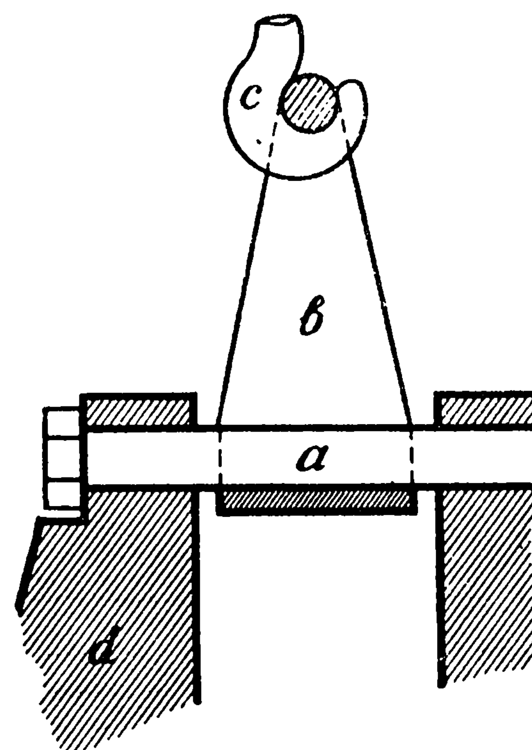
Г. Гадолин [3*]. Те факты, которые сообщил нам теперь г. Чернов, особенно важны, они красноречиво сами за себя говорят. Надобно признать, что разница между прочностью прокованных орудий и обработанных по способу г. Чернова была весьма резкая. Проба была весьма строгая; такие заряды, которые употреблялись при испытании, были слишком сильны, и хотя сталь при этом растянулась на $^1/_{300}$ долю (как это выходит из данных, сообщенных сегодня), но орудия выдержали пробу, — результаты, без сомнения, замечательные. Но, по моему мнению, отвергая значение ковки, которая многими людьми и в течение веков почиталась



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

средством, улучшающим качество стали, г. Чернов сделал слишком поспешное заключение.

В сообщении г. Чернова мы встречаем замечательную попытку свести разные явления на общеизвестные физические законы и объяснить их чисто теоретическим, научным путем. Нельзя не отнестись сочувственно к та-

кого рода попыткам, встречающимся, к сожалению, весьма редко в технической литературе, но нельзя также не высказать, что г. Чернов зашел в этом далеко, стараясь объяснить такие факты, которые еще не могут быть подведены под известные нам законы физики. Так, для объяснения перехода стали из кристаллического в аморфное состояние и обратно г. Чернов приводит подобное явление, имеющее будто бы место при плавлении квасцов: он говорит именно, что если расплавить осторожно в колбе квасцы, — что происходит при температуре, положим, t_0, — полученную жидкость нагреть до высшей температуры t_1 и затем медленно охладить, то при некоторой температуре t — промежуточной между t_0 и t_1 — соль начинает кристаллизоваться, но достаточно взболтать раствор, чтобы кристаллы опять растворились при той же температуре t. Такое явление противоречит всем известным законам кристаллизации [3]. Мы знаем много примеров, что насыщенный раствор может охладиться ниже точки насыщения, не выделяя еще кристаллов, причем именно взбалтывание или мешание обусловливает сейчас кристаллизацию (как это замечается и с охлаждающейся ниже 0° водой); но обратное явление нам неизвестно. Гораздо проще объяснить замеченное г. Черновым явление при остывании расплавленных квасцов тем, что термометр, которым наблюдалась температура, был погружен посредине колбы. Слой жидкости, его окружающей, при покойном состоянии должен был быть теплее слоев, примыкающих к стенкам, охлаждаемым воздухом, а потому на этих стенках или вблизи их могли образоваться кристаллы при температуре, низшей t_0. Очевидно, что при взбалтывании жидкости слои различных температур должны были смешаться, и те из них, в которых началась кристаллизация, нагрелись так, что нагревание, а не взбалтывание было причиною расплавления вновь кристаллов.

Нельзя не обратить внимания и на объяснение способности стали уплотняться от ковки только при невысоких температурах: г. Чернов говорит, что в стали с кристаллическим сложением существуют между зернами промежутки. Мы не считаем себя вправе оспаривать этого заявления, но оспариваем верность тех данных, на которых г. Чернов основывает свое заключение; он говорит, что, рассматривая излом стали под микроскопом, легко заметить промежутки между группами зерен, а также между отдельными зернами. Но под микроскопом мы можем в непрозрачном теле видеть только углубления поверхности, но на сколько эти углубления продолжаются во внутрь и составляют ли они что-либо другое, чем следы оторванных при разрыве частей, — этого микроскоп обнаружить не может. Сомнительно также, чтобы могло произойти выполнение или уничтожение промежутков между кристаллами при нагревании. В твердом теле, не размягченном еще от жара, невозможно вообразить, чтобы отдельные зерна, составляющие это тело, расширялись бы быстрее, чем внешние размеры всего тела; расширение внешней поверхности есть следствие расширения внутренних частиц, и оно происходит непременно

---

[3] Учение о жидких кристаллах Леманна, возникшее в конце 80-х годов, прекрасно объясняет это явление. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

в той же пропорции, как и расширение сих последних. Наполнение промежутков между зернами, прикасающимися друг с другом во многих точках, немыслимо без изменения формы зерен, что предполагает некоторую пластичность вещества. Между тем, г. Чернов приходит к тому заключению, что сталь можно уплотнить только при температуре, низшей b, когда сталь только после этой температуры делается пластичною. Приведенный г. Черновым факт, может быть, и справедлив для стали, но он этого факта не объяснил теоретическим путем [4].

Точно так же нельзя допустить объяснения, которое дает г. Чернов относительно узоров, производимых на стали. По мнению его, они проявляются оттого, что стенки кристаллов несколько плотнее массы, их наполняющей. Но известно, что необходимое условие в каждом кристалле составляет однородность массы его во всех частях [5].

Кроме того, надобно заметить, что произведенные г. Черновым опыты над изменением структуры стали еще малочисленны и недостаточно разнообразны для того, чтобы вывести из них окончательное заключение для практики. Это может быть только тогда, когда другие и в разных местах и при других обстоятельствах повторят их с одинаковым успехом, и, без сомнения, такие опыты послужили бы к разъяснению многих еще весьма темных вопросов в технике стали.

Я обратил внимание на эти обстоятельства только в интересе самой науки; я хотел только указать на то, что, по моему мнению, недостаточно и неправильно объяснено, но вовсе не имел намерения умалить значения практических результатов, до которых достиг г. Чернов.

После весьма оживленных прений относительно теоретических воззрений, выраженных г. Черновым, Председатель сделал следующее заключение: «Мы должны быть благодарны Акселю Вильгельмовичу за изящный критический разбор высказанных г. Черновым мнений, сделанный единственно с целью поставить на более прочную научную почву теоретические выводы автора, но я полагаю, что главное в выслушанном нами сообщении не теоретические воззрения г. Чернова, но те практические указания, им сделанные на основании весьма замечательных исследований, которые привели его к важным и, сколько мне кажется, к новым результатам, и то, что послужило поводом к оспариванию в теоретических соображениях г. Чернова, не может нисколько изменить выгодного мнения, выраженного в мае нынешнего года Е. Н. Андреевым о сообщении Дмитрия Константиновича. (См. «Записки. . .», вып. 7.)

Для лучшего же ознакомления гг. специалистов с приемами г. Чернова относительно обработки стальных болванок и орудий я полагал бы полезным составить особую Комиссию, которая, войдя в подробнейшее рассмотрение возбужденных г. Черновым вопросов, составила бы совместно с ним программу испытаний».

---

[4] См. доклад в Р‹усском› мет‹аллургическом› о‹бщест›ве 20 ноября 1914 г. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

[5] См. «Химическая минералогия» Браунса, перевод под ред. проф. Левинсона-Лессинга. Скорлуповатое строение (зональная структура кристаллов). — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

3

ОБОБЩЕНИЕ ПО ПОВОДУ НЕКОТОРЫХ НОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ [1*]

(Сообщение и⟨мп⟩. Р⟨усскому⟩ т⟨ехническому⟩ о⟨бщест⟩ву 10 марта 1884 г.)

Мм. гг. Лет семь тому назад, когда я занимался еще на Обуховском заводе, при водворении стального судостроения в России, заводу были заказаны листы для постройки клиперов в здешнем адмиралтействе и предложены были такие же строгие условия приема листов, какие Сименс предложил английскому адмиралтейству.

Листы должны быть без пороков и выдерживать до разрыва от 26 до 30 тонн на кв. дюйм при окончательном удлинении не менее 20 процентов. По условию, каждый лист подвергался проверке его качеств при приеме испытанием отрезка от него. Делалось это таким образом: листы, обрезанные ножницами после прокатки, имели запас в длину около 4 дюймов; непосредственно затем отрезалась четвертая часть запаса по ширине в виде планки, около 14—15 дюймов длиною, как показано на фиг. 1 (табл. II).

Из отрезанной планки выкраивался помощью ленточной пилы пробный образец для испытания на разрыв. Если при испытании этого образца получались величины, отвечающие условиям приема, тогда оставшийся запас предоставлялся в распоряжение приемной комиссии для контрольного испытания и лист сдавался; если же удлинение было мало и разрывное усилие превосходило меньший предел нагрузки, то лист подвергался отжиганию и остальной запас отрезался ножницами после этой операции и затем опять приготовлялся пробный образец для разрыва. Иногда весь запас листа сразу отрезался от него и, в случае отжига листа, планка клалась в печь вместе с листом и также отжигалась, после чего уже образец вырезался из планки только ленточной пилой и отделывался слесарным напилком, не подвергаясь действию ножниц после отжигания.

При испытании на разрывном прессе этих образцов мне удалось заметить следующее явление. Когда последовательными нагрузками по достижении предела упругости образец подвергался дальнейшему растяжению, то начинающиеся неупругие удлинения моментально обнаруживались шелушением окалины на испытуемой части образца. Окалина поднималась в виде мелкой ряби, как мелкая рыбья чешуя, причем некоторые чешуйки отскакивали от образца по сторонам. Это явление, весьма характерное, тотчас же давало знать о переходе предела упругости и вполне совпадало с увеличенными показаниями индикатора удлинений на разрывном прессе. При шелушении окалины и обнажении некоторых мест образца ясно обозначались группы кривых пологих линий, весьма резко очерченных и довольно правильно расположенных; иногда все линии группировались к одной стороне образца, как показано на фиг. 2, а ино-

гда же группы появлялись с двух сторон и линии пересекались на поле образца, как показано на фиг. 3. На образцах, выпиленных из планок, отрезанных от листа и *затем отожженных*, линий вышеуказанного характера *не появлялось вовсе*.

Явления эти, а также появление сетки на точеных образцах при испытании пушечной стали не могли не обратить на себя внимания, и я с большой охотой приготовлялся произвести целую серию наблюдений в этом направлении. С этой целью я выписал от Дальмейера большой микроскоп, модель № 2, с приспособлениями для большого фокусного расстояния от предмета [1].

Программа исследований состояла в том, чтобы произвести ряд наблюдений над полированными образцами, подвергая их после самой высокой полировки растяжению: *до предела упругости*, *приблизительно перед образованием перехвата или шейки* и, наконец, *до разрыва*, с тем чтобы при помощи микроскопа наблюсти за перемещениями частиц стали, сколько они выразятся на полированной поверхности образцов, и вместе с тем снять точные рисунки замеченных линий, для чего были сделаны приготовления к занятию микрофотографией. Руководствуясь перемещениями частиц на поверхности образца, можно ближе познакомиться с теми изменениями, какие совершаются в структуре металла под влиянием внешних механических усилий.

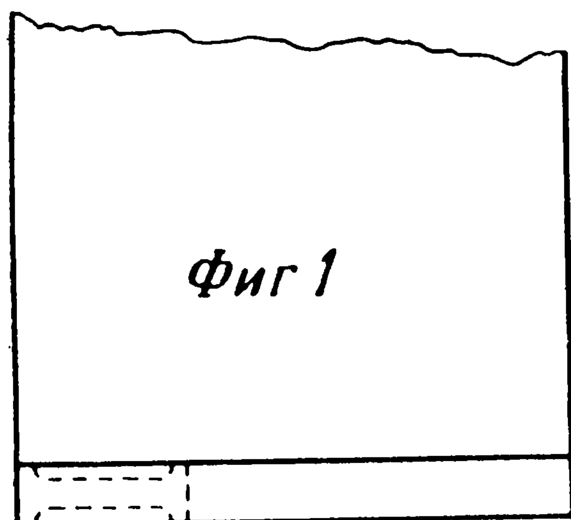
К сожалению, даже первый образец, приготовленный мною, не подвергся наблюдению, потому что среди моих приготовлений я должен был уступить грубой силе обстоятельств и покинуть не только мои занятия на Обуховском заводе, но и вообще стальное дело. Если я остановился несколько на программе предположенных мною работ, то только потому, что за невозможностью работать самому от души желал бы видеть выполнение такой задачи кем-либо другим, так как вполне уверен, что всякий, посвятивший себя подобным исследованиям, будет щедро награжден их результатами.

Недавно, вернувшись в Петроград после 3-летнего отсутствия, я был приятно изумлен, увидев замеченные мною прежде линии на стали, воспроизведенные, однако при других обстоятельствах, до того ясно и отчетливо, что сейчас же вспомнил мои прежние образцы, те идеи, которые привели меня к составлению целой программы опытов и, наконец, к тем обобщениям, которые я желал предложить сегодня Вашему вниманию.

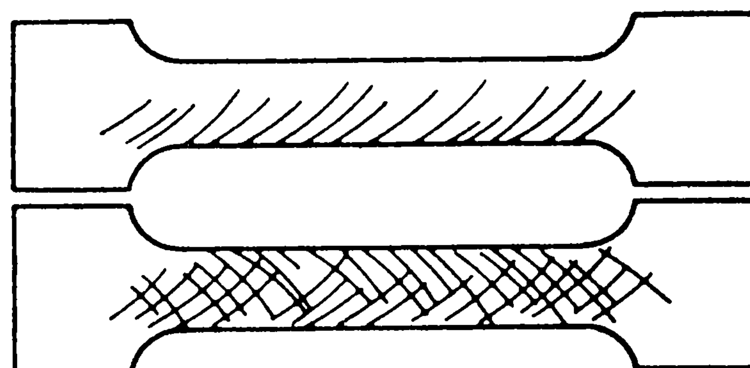
Это было в конце января; многоуважаемый сочлен наш В. Н. Бек-Гергардт [2*] пригласил меня посмотреть и высказать свое мнение по поводу весьма интересных образцов, которые он приготовил, занимаясь исследованием вопроса о степени вредного влияния пробивки дыр в рельсовых накладках. Для того чтобы исследовать под микроскопом, не появляются ли трещинки вокруг продавленной дыры, в особенности с нижней стороны (так как с этой стороны у краев отверстия почти совсем пропадает тягу-

---

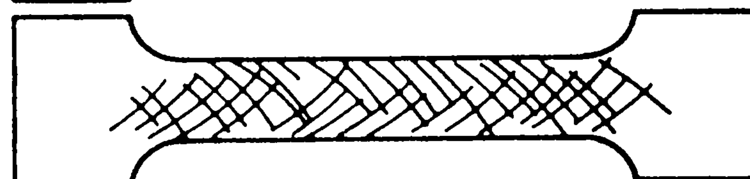
[1] Около $^3/_4$ дюйма; я желал бы обратить внимание на это обстоятельство тех, кому приходится исследовать темные предметы, так как в этом случае объектив с большим расстоянием от предмета представляет большие преимущества.

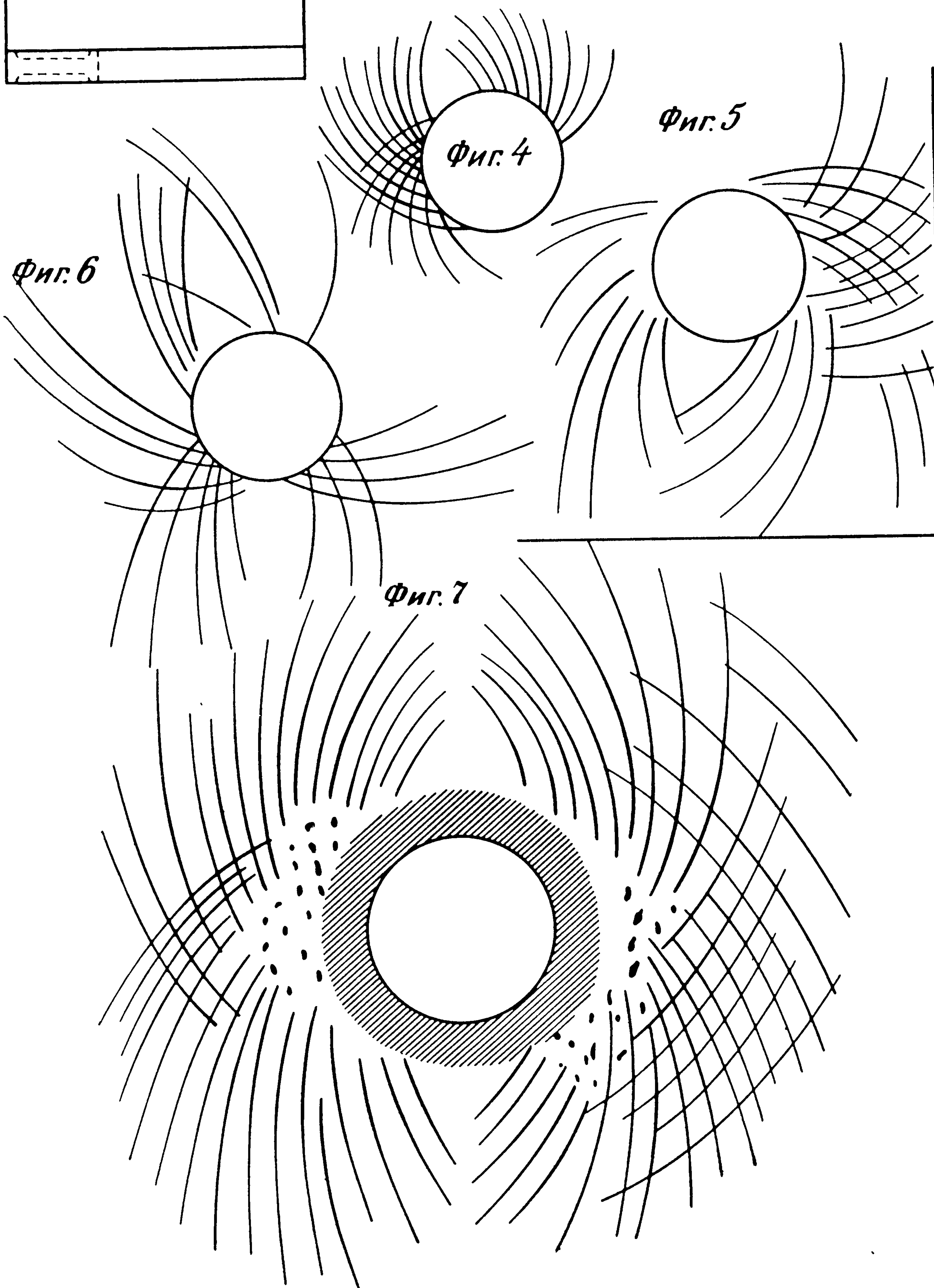


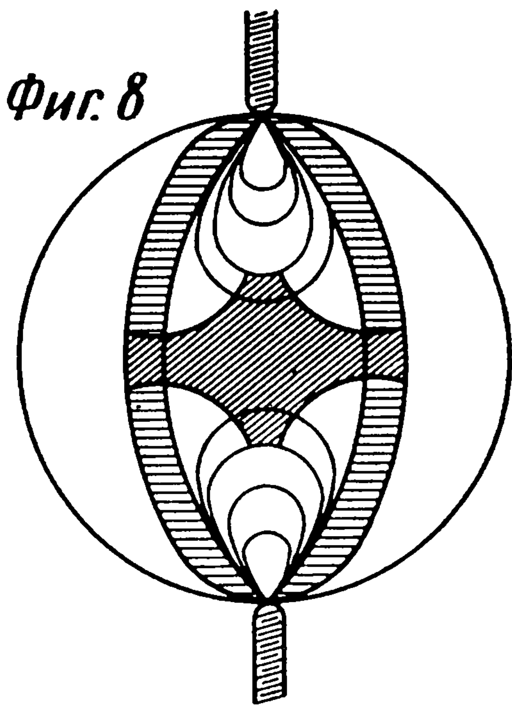
Фиг 2

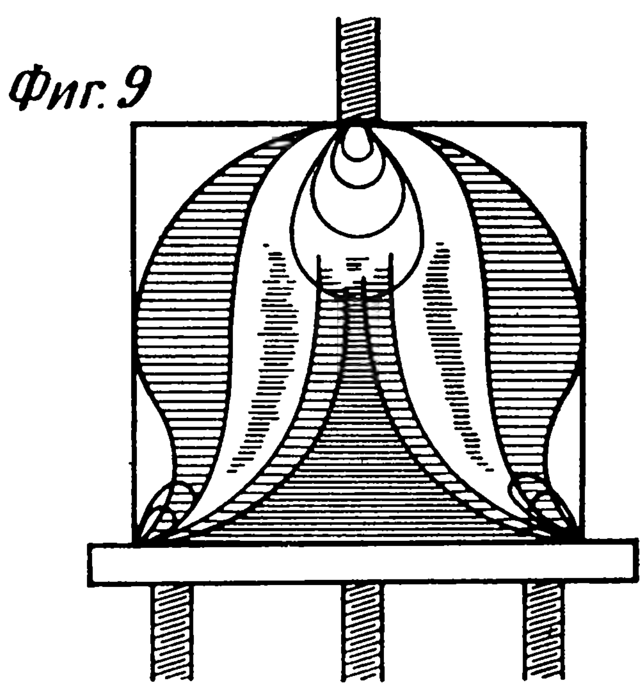


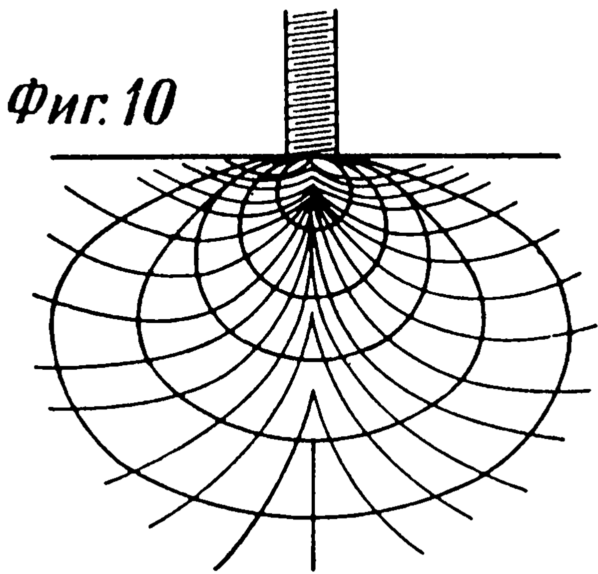
Фиг. 3

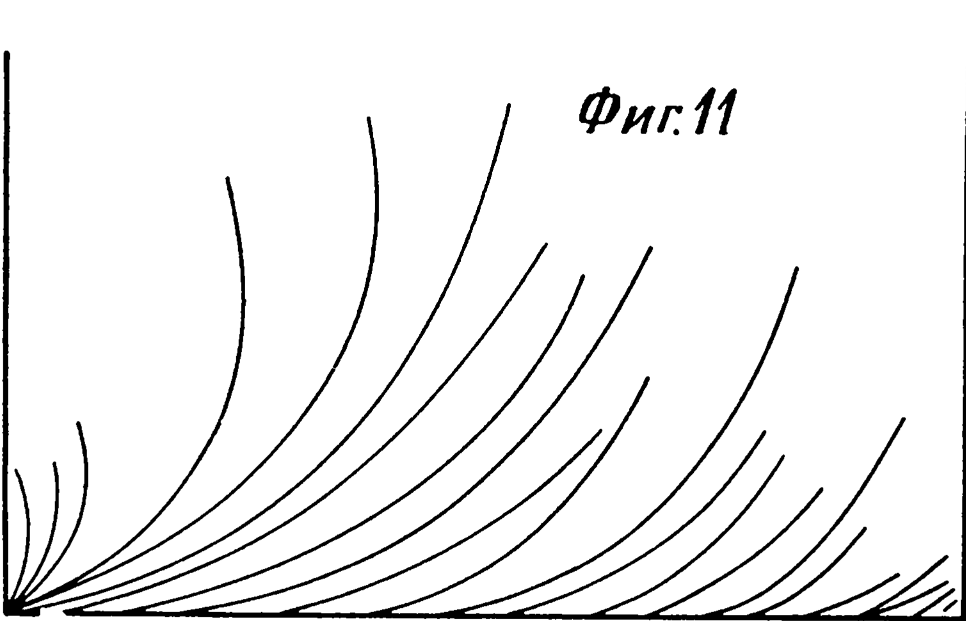





Фиг. 8


Фиг. 9


Фиг. 10


Фиг. 11

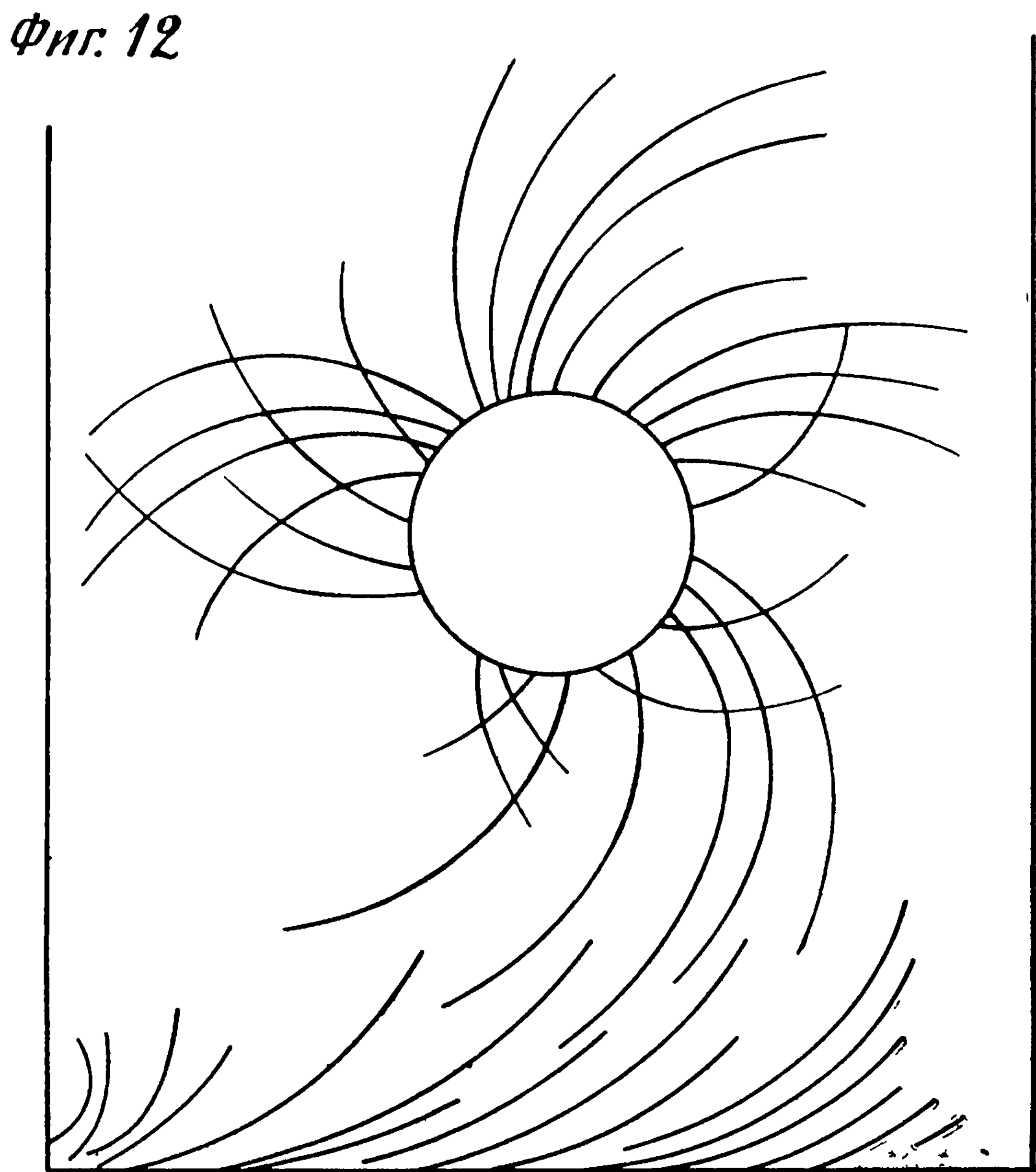
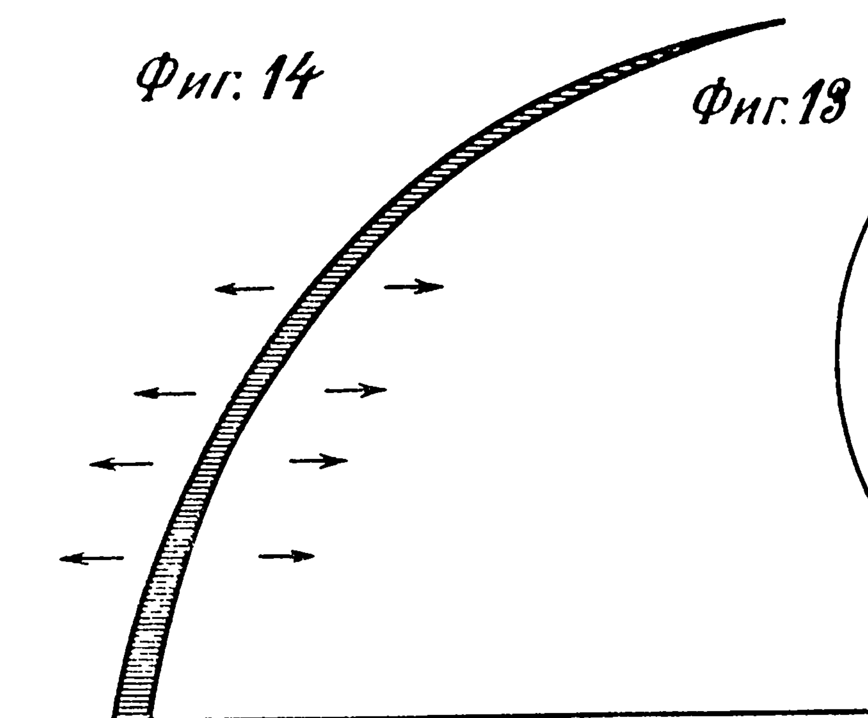
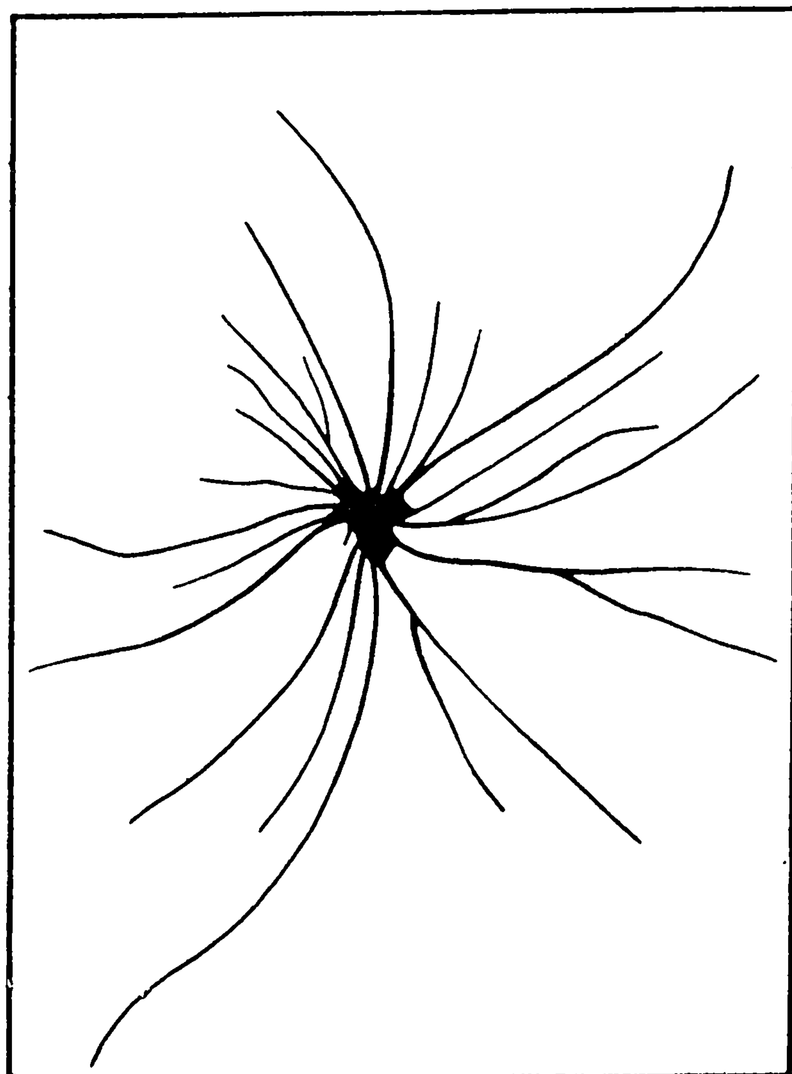

Фиг. 12

Таблица II (окончание)



Фиг. 15



честь металла), г. Бек-Гергардт произвел несколько опытов над продавливанием отверстий в полированных стальных листах. Эти-то образцы я имел удовольствие видеть у Василия Николаевича и, пользуясь его любезностью, имею возможность представить Вашему вниманию рисунки некоторых наиболее интересных образцов (см. фиг. 4, 5, 6 и 7). Из рисунков видно, что на планках, около продавленных отверстий, сгруппированы пучки линий, как бы отростки спиралей. Образцы так отчетливо давали эти линии, что г. Бек-Гергардт сделал с них фотографические снимки; некоторые из образцов после продавки были слегка протравлены медным купоросом и после легкой очистки вышли чрезвычайно красивы. Один из образцов представляет пластинку листа около 10 дюймов в квадрате; посредине квадрата продавлено отверстие в 1 дюйм диаметром; при этом получилось весьма красивое и правильное расположение матовых линий в виде спиралей, идущих в противоположные стороны, как это показано на фиг. 7.

Когда я увидел эти образцы, мне припомнились те линии, которые лет восемь тому назад получались у меня на образцах, вырезанных из планок от листов, и я тотчас же привел в связь условия появления этих линий при продавке дыр с появлением их при отрезывании стальных листов под ножницами.

Для того чтобы объяснить их происхождение, я припомнил мемуар г. Леже, трактующий о частичных напряжениях в стеклянных пластинках в применении к внутренним напряжениям в закаленной стали [2]. Рассматривая вопрос о закалке стали и напряжениях, обнаруживающихся вследствие того между ее частицами, Леже обратился к исследованию стеклянных пластинок. Стеклянные пластинки различных форм: квадратные, круглые, трехугольные, многоугольные, подвергнутые закалке и потом наблюдаемые сквозь Николевы призмы, показывали сильную поляризацию, радужные круги от углов, иногда и от плоскостей, весьма ясно вырисовывались в стеклах, обнаруживая силу и направление развившихся в стекле частичных напряжений.

Чтобы провести аналогию между внутренними частичными напряжениями, вызываемыми закалкой, и теми напряжениями, которые вызываются в телах приложением внешних усилий, были прослежены условия появления радужных кругов, линий, тех или других форм в незакаленных стеклянных пластинках, подвергаемых надавливанию и сжиманию в различных местах при помощи винтов, иногда с подкладкой планок. При нажиме винта на такую пластинку вызывались такие же световые явления, как и от закалки: радужные пятна, в виде павлиньих глазков, составленные из разноцветных кругов, расположенных эксцентрически от точки приложения винта, причем эта точка является общей точкой касания прилегающих кругов; вместе с тем получались и темные матовые пятна, поля, кресты, как то было и в закаленных пластинках. При нажимании квадратной пластинки с одной стороны в одной точке непосредственно винтом, а с другой — чрез подкладку, в поле зрения Николевой призмы появлялись радужные круги и эллипсы, а разделявшее их матовое поле имело вид хвоста тритона. Характер этих явлений передан на фиг. 8 и 9.

К мемуару г. Леже приложено много интересных рисунков; но я затрудняюсь их воспроизвести и указываю непосредственно на этот источник для желающих ближе познакомиться с ними. Подобные же опыты были доложены в Лионском обществе прикладных наук в июле 1877 г.[3]. Был произведен ряд опытов, чтобы прямо определить распространение механических усилий в упругих массах, подвергая давлению, сгибу или скручиванию стеклянные предметы в различных точках. При этих опытах приложенные к стеклянным предметам усилия вызывали около точек приложения также эксцентрические круги; но вместе с тем замечены были и матовые линии или полосы, расходящиеся, как бы спирального характера; направление этих матовых полос было приблизительно нормально к окружностям радужных кругов в точках пересечения этих последних с полосами, как это видно на приблизительном рисунке фиг. 10.

Делая опыты такого рода, зажимали, например, стеклянную балочку в тиски или прочно заделывали в стенку, а к концу балочки прикладывали изгибающее усилие, тогда получались ясные рисунки волн внутренних

---

[2] *Leger M.* Sur la constitution des corps trempés: Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils, 1877, p. 645.

[3] См. также *Schott.* Studien über die Härtung des Glasses.

упругих напряжений, противодействующих изгибающему усилию. Считаю нужным оговориться, что не имею под руками оригинала статьи, а привожу это только на память.

Все это припомнилось мне при взгляде на образцы Василия Николаевича, и я высказал ему тогда же предположение, что если мы возьмем вместо стеклянной пластинки стальную, то вызовем в ней такое же расположение упругих напряжений, противодействующих приложенным усилиям, какое вызывается в стекле на время действия этих усилий. Все круги и линии, вызванные в стекле, пропадали по отнятии груза; то же самое будет иметь место и для стальной пластинки, когда к ней приложатся усилия, не превосходящие предела упругости стали.

Разница наступает далее, когда усилия возрастают за указанный предел. Когда приложенное к стеклу усилие переходит за предел упругости, стекло сейчас же разрушается, дает трещины, разламывается, потому что для стекла предел упругости совпадает с пределом абсолютного сопротивления. Следовательно, здесь нельзя фиксировать проявления этих напряжений, а можно только временно наблюдать их при усилиях, не превышающих предела упругости стекла, и разве только по форме полученных осколков и трещин судить о расположении бывших напряжений; между прочим, нельзя не заметить большого сходства вида так называемого раковистого излома стекла с формой расположения радужных кругов и матовых полос, изображенных на фиг. 10.

Сталь обладает в этом отношении весьма ценными свойствами: вызывая в стальной пластинке упругие напряжения и увеличивая их до тех пор, пока будет превзойден предел упругости, мы вызовем и проявление затем неупругих перемещений частиц стали. Эти-то неупругие перемещения и дают себя знать легким матовым рисунком на полированной поверхности стальных предметов.

Спрашивается: отчего эти неупругие перемещения являются в виде линий? Едва ли также легко решить вопрос: почему в стекле упругие напряжения, противодействующие внешним механическим усилиям, выражаются не непрерывным распределением их между частицами в ослабевающем порядке по мере удаления от точки приложения усилия, а весьма резкими волнами, эксцентрическими кругами, эллипсами и разветвляющимися линиями, имеющими между собой известные расстояния и расположение.

Г. Леже, говоря о напряжениях, вызываемых в стекле приложением механических усилий, полагает, что как стекло, так и все упругие тела, как и закаленная сталь в том числе, образуют *волны упругих напряжений*, совершенно *подобные звуковым волнам* в упругой среде.

Присоединяясь вполне к этому мнению на основании всего вышеизложенного, я полагаю, что и мягкая литая сталь может быть подведена под тот же закон; но что она вместе с тем обладает драгоценными свойствами — фиксировать на своей полированной поверхности рисунок этих волн, если усилия превосходили предел упругости ее. Неупругие перемещения, конечно, должны вызываться, прежде всего, в тех местах волн, где напряжения достигают наибольшей величины, назовем ли такие места

узлами, линиями перегиба или вообще линиями наибольших напряжений, все равно, — матовый рисунок ясно покажет эти места.

Желая расширить несколько программу дальнейших наблюдений над появлением линий, я просил моего уважаемого товарища и сотрудника по Обуховскому заводу А. А. Ржешотарского [3*] приготовить несколько образцов для настоящего доклада; А. А. был так любезен, что тотчас же принялся за изготовление образцов, и теперь я поставлен в возможность показать Вам, мм. гг., эти линии как от пробивки дыр, так и от резки под ножницами, от ударов и от изгиба; некоторые из них представлены на следующих рисунках:

Фиг. 11 представляет в натуральную величину линии, полученные на полированной планке при отрезке от нее куска под ножницами.

Фиг. 12 — линии на пластине от пробивки дыры и от ножниц.

Фиг. 13 — рисунок с кружка 75 *мм* в диаметре и 20 *мм* толщиною, приплюснутого на ребро под паровым молотом. В этом кружке весьма ясно выразились и фиксировались возвышенные линии, — такого же характера по расположению, как это замечается в стекле. Пересечения линий одной стороны с линиями другой чрезвычайно характерны в данном случае и показывают, что распространение упругих напряжений от одной точки к другой идет совершенно независимо от того, встречает ли она другие волны или нет. Это еще более подтверждает предположения г. Леже, что волны эти аналогичны с звуковыми, которые, в одной и той же среде, с разных сторон могут распространяться совершенно независимо, представляя иногда явления интерференции, что, кажется, бывает и в волнах, вызываемых механическими усилиями в стали.

На рисунке фиг. 7 можно заметить, что образец, приготовленный г. Бек-Гергардом, имеет вид двух правильно и рельефно выступающих групп кривых линий, которые, будучи между собой пересечены в различных направлениях, в некоторых местах обозначаются только рядами точек; эти точки и есть те места, где волны, так сказать, интерферируют.

Для того чтобы констатировать неупругие перемещения в проявляющихся линиях при резке листов под ножницами, как показано на фиг. 2 и 3, я просил А. А. Ржешотарского приготовить пластинку, отрезанную от листа с обеих сторон под ножницами, отполировать ее широкие плоскости и затем подвергнуть растяжению на прессе. Опыт вполне удался: после растяжения за пределом упругости на этой отполированной пластинке чрезвычайно ясно выступили линии, пересекающиеся между собой на поле образца, подобно тому, как представлено на фиг. 3.

Надо заметить, что линии эти бывают двух родов: одни — выпуклые, другие — вогнутые или впалые. При приложении растягивающих усилий происходят впалые линии; при приложении же сдавливающих усилий происходят выпуклые линии. Это вполне объясняется предлагаемым мной обобщением: если при приложении механических усилий вызываются волны, в которых слабые места представляют наибольшее растягивающее напряжение, то при увеличении усилия за предел упругости в этих местах металл будет растягиваться и в соответственных местах на поверхности образуются некоторого рода впадины; если же волны вызваны при-

ложением сжимающих усилий, то слабые места волн будут места наибольшего упругого сжатия, а за пределом упругости в этих местах произойдет выпучивание металла, что выразится выпуклыми линиями на полированной поверхности.

Если высказанные предположения справедливы, то такого рода линии должны были бы появиться на предыдущем образце при растягивании его на прессе после полировки.

На самом деле линии получились выпуклые и притом настолько, что выпуклость доступна даже осязанию. Повторим, что образец был приготовлен следующим образом: обрезан ножницами с обеих сторон, обделан пилой, обструган сверху и снизу, отполирован и затем подвергнут растяжению на прессе. Следовательно, в первый раз были вызваны линии при обрезке на ножницах; опилкою и обстрагиванием, а затем и полировкою все наружные следы их были уничтожены; вызванные же во второй раз, растяжением за пределы упругости, линии оказались выпуклыми.

На первый взгляд здесь как будто выходит противоречие. Однако Вы видели, мм. гг., на двух образцах, фиг. 11 и 12, что при обрезке на ножницах линии являются впалыми, и мы можем рассматривать их как результат местных неупругих перемещений, растяжений, по направлению реза. Если начертить эти линии в увеличенном масштабе, фиг. 14, то каждая из них представит известный слой стали, растянувшийся по направлению стрелок.

Вам известно, мм. гг., что еще Годкинсон заметил значительное увеличение предела упругости железа, если перед тем оно было несколько вытянуто за первоначальный предел прочности; явление это ясно наблюдается при протягивании проволоки. Когда мягкое железо в холодном состоянии вытягивается в проволоку, мы получаем металл, обладающий заметною хрупкостью и твердостью; чтобы уничтожить внутренние частичные напряжения, обусловливающие эти новые качества металла, проволоку следует отжечь; эта операция вполне возвращает железу прежнюю мягкость.

Возвращаясь к нашему образцу, мы видим, что хотя перед растяжением его были уничтожены следы первых линий полировкой, но сталь оставлена была без отжигания, и от этого сущность металла осталась нетронутой; вытянутый в линиях металл при резке под ножницами получил высший предел упругости и потому при растяжении образца не обнаружил еще неупругих перемещений, когда металл между линиями начал уже тянуться, обнаружив это растяжение матовостью и впалостью; таким образом, первоначальные линии должны были сами собою выступить в выпуклом виде. Мне кажется, что обстоятельство это, как нельзя более, подтверждает высказанное мною предположение.

Что касается вопроса о кривизне линий, их расположении и свойствах, то я желал бы избежать этой области, так как чувствую себя недостаточно знакомым с ней. Желал бы только обратить ваше внимание на вид разбитого оконного стекла, так знакомый каждому из нас. На фиг. 15 сделан набросок рисунка разбитого стекла; при внимательном наблюдении легко

заметить сходство трещин, идущих от пробоины, с видом линий, получаемых на стальной пластинке при пробивке отверстия.

Замечательно и то, что наблюдаемые в разбитом стекле разветвления трещин попадаются и в линиях на стальных пластинках, как видно из рисунка на фиг. 12. Линии особенно ясны и с разветвлениями получаются при резке или продавливании мягких толстых стальных листов, около $1^1/_2$—2″ толщиною; тогда длина линий достигает 20 и более дюймов.

Замечено, что чем медленнее продавливается стекло, тем дальше распространяются трещины, и наоборот; известный опыт показывает, что стекло, пробитое пулей, почти не получает никаких трещин, а только образуется круглое отверстие. Точно так же и в других телах, когда разрушающее механическое усилие прилагается медленно, тогда и волны натяжений распространяются на большие расстояния; когда же усилия прилагаются быстро, то и район напряжений, противодействующих приложенному усилию, будет ограничен небольшим пространством, а следовательно, в последнем случае меньшее число частиц участвует в сопротивлении.

Таким образом, можно наперед сказать, что при быстрой пробивке дыры в стальном листе получится тем меньшее распространение линий, чем тоньше лист и чем тверже сталь.

Предложенные вам, мм. гг., сегодня образцы не могут назваться совершенными, так как линии на них несколько спутанны, не во всех местах ясны и отчетливы, и потому желательно было бы повторить такие образцы при соблюдении всех возможных предосторожностей. Мало того, я полагаю, что было бы чрезвычайно интересно — и с научной, и с практической стороны — произвести в больших размерах опыты сгибания балок, сжатия призм и т. п., предварительно отполированных.

Для нашей артиллерии весьма важно бы исследовать влияние скрепляющих колец на ствол орудия. Известно, что сечение ствола орудия, особенно больших калибров, составляет небольшую долю суммы сечений стягивающих его колец, которых ложится на ствол 3, 4 и 5 рядов, причем каждый из этих рядов колец производит соответственное сжатие ствола. Несмотря на приложение весьма изящных формул к определению сжатия ствола каждым рядом колец, мы остаемся в неведении относительно распределения напряжений в стволе. Все предыдущие опыты показывают, что напряжения как в стекле, так и в стали не имеют постепенной непрерывности, как это предполагается в формулах, а распределяются волнами, образуя ряд складок или морщин на соответственной поверхности.

При изготовлении орудий больших калибров мы остаемся в потемках относительно того, какими волнами распределяется сжатие в стволе; как оно отражается на его прочности; не производит ли оно условий образования рода плоскостей слабости, по которым ранее всего образуются трещины в стволах больших орудий после небольшого числа выстрелов, хотя металл сам по себе не оказывается дурным.

Ввиду этого я предложил бы произвести опыты над стальными кольцами, соответствующими по сечению стволу большого калибра; отполи-

ровав канал и срезы колец, надевать на них скрепляющие кольца с таким натяжением, с каким они надеваются на соответственный ствол орудия, — тогда отполированная поверхность прямо нарисует то, что делается со стволом и кольцами при сильном стягивании.

4

О ПРИГОТОВЛЕНИИ СТАЛЬНЫХ БРОНЕПРОБИВАЮЩИХ СНАРЯДОВ [1*]

(Сообщение в и⟨мп⟩. Р⟨усском⟩ т⟨ехническом⟩ о⟨бщест⟩ве 10 мая 1885 г.)

Мм. гг., не входя в подробности исторического обзора введения в нашу артиллерию стальных бронепробивающих снарядов, я ограничусь одной чисто технической стороной их приготовления, так как желал бы в одном сегодняшнем сообщении изложить результаты моих последних работ в этой новой для нас отрасли сталелитейного дела.

Напомню только, что с 1881 г., когда опыты над 11-дюймовыми снарядами завода Круппа показали их преимущества перед всеми до сих пор приготовлявшимися снарядами, они стали служить образцом требований от других заводчиков, и наше правительство, в видах обеспечения себя такими снарядами, предложило русским заводам заняться выработкой способа их приготовления, обещая дать заказы с упрощенными формальностями и, сколько мне известно, по тем же ценам, которые предложил завод Круппа.

Несмотря на выгодность цены (около 15 р. за пуд), на облегчение по возможности всех формальностей и несмотря на то, что в конкурсе на это производство приняли участие все наши сталелитейные заводы, казенные и частные, вопрос остался до сих пор неразрешенным, и правительство принуждено заказывать снаряды на заводе Круппа. Сколько мне известно, за время объявления состязания завод Круппа изготовил для нас около четырех тысяч штук 11-дюймовых снарядов, на сумму около 1 миллиона рублей.

Мне пришлось недавно ближе познакомиться с этим вопросом, так как 11 месяцев тому назад я был приглашен на Обуховский завод для выработки способа изготовления таких стальных снарядов, от 6 до 11-дюйм⟨ового⟩ калибра включительно. Так как вопрос заключался главным образом в приготовлении снарядов большого калибра, то я непосредственно взялся за исследование путей, какими можно достигнуть приготовления 11-дюймовых снарядов. Позволяю себе думать, что решением вопроса относительно 11-дюймовых снарядов он разрешается тем более для снарядов меньших калибров. Напомню еще, что и раньше некоторым заводам, хотя иногда и случайно, удавалось приготовить снаряды 6, 8 и 9-дюймового калибров, удовлетворявшие современным требованиям артиллерии.

Необходимо припомнить, что способ изготовления стальных снарядов, с тех пор как была выяснена возможность придавать стали все ее физические качества, не прибегая к проковке ее под молотом, разделился надвое:

на способ приготовления кованых снарядов и способ приготовления некованых, литых, снарядов. У Круппа, сколько можно судить по исследованным образцам, 11-дюймовые снаряды приготовляются при помощи проковки.

Недосягаемые качества 11-дюймовых снарядов Круппа заключаются в том, что выпущенные в железную $15^1/_2$-дюймовую плиту, поставленную под углом 25° на расстоянии 50 сажен от дула, при заряде в $146^1/_2$ фунтов призматического пороху, не пробив плиты насквозь, отскакивают и падают в целом виде около плиты, хотя и получают несколько незначительных трещин около основания головной части. Деформация как головной, так и цилиндрической части незначительна: снаряд ссаживается по длине около $^1/_2$ дюйма, а отклонение острия головной части от оси снаряда около $^1/_4$ дюйма в сторону. Таких качеств в 11-дюймовых снарядах не только не достигает ни один из наших заводов, но и все остальные заводы в Европе в этом отношении стоят далеко от тех результатов, которых достигает завод Круппа.

Приступая к делу снарядов, я застал его в следующем положении. При изготовлении пробных снарядов были испытаны различные способы закалки: в воде, масле, сале; иногда один и тот же снаряд подвергался закалке два раза — с закалкой внутри снаряда и без оной; нагревание перед закалкой производилось или в отражательной печи, или в раскаленной свинцовой ванне; испытано было томление в ящике с углем в продолжение трех-четырех суток перед закалкой; для увеличения твердости на поверхности иногда употреблялось обсыпание синильным кали. Сталь для снарядов бралась различной твердости, причем предпочиталась прессованная в жидком виде. Все это применялось как к снарядам кованым, так и к литым, некованым.

Ввиду постоянных неудач, на заводах, занимавшихся приготовлением кованых снарядов, начало преобладать убеждение, что наша сталь не такова, как крупповская, что если бы те приемы, которые мы употребляем при обработке снарядов, были применены к стали Круппа, то мы получили бы вполне удовлетворительные результаты. Однако опыт, сделанный в этом направлении, не оправдал возлагавшихся на него ожиданий.

Другие заводы, занимавшиеся опытами исключительно над литыми снарядами из мартеновской стали, пришли к убеждению, что выработанные ими приемы достаточны, если их применить к снарядам кованым. Так как опыт со снарядами, кованными из той же мартеновской стали, оказался тоже неудачным, то, кажется, теперь возникло предположение, что для таких снарядов можно употреблять только тигельную сталь.

Вопрос этот находится в таком же неопределенном положении и на Западе Европы, исключая завод Круппа. Мы и там видим различные предположения: делать особую наставную вершину к стальному снаряду — из закаленного чугуна или особенно твердой стали; надевать особую стальную рубашку на сравнительно мягкий снаряд и т. п.

На Обуховском заводе, перед началом моих работ, мне показали выработанный там прием при закалке снарядов в следующем виде: после предварительного подогревания снаряды погружались в раскаленную свин-

цовую ванну, где оставались в продолжение $^1/_2$—$^3/_4$ часа; потом для закалки погружались в бак с холодной водой; во внутреннюю пустоту снаряда вставлялся наконечник трубки, проводящей сильную струю холодной воды под большим напором; снизу бака подведен отросток трубы, дававший струю под головную часть снаряда. Спустя 6—7 мин., когда весь снаряд вполне охладится, он вынимается из бака. После предварительного подогрева снаряд подвергается затем отпусканию до синей побежалости около дна и желтой — около вершины; отпускание производилось помещением снаряда между стопой раскаленных колец на раскаленной плите.

Вот, мм. гг., с каким материалом в руках мне пришлось приняться за снаряды: никаких руководящих мыслей, никаких предположений относительно производства снарядов никем не высказывалось открыто, все покрыто непроницаемою тайною. Это одинаково относится и до иностранной литературы: нигде не появлялось исследований совокупности условий, сопровождающих приготовление стальных снарядов. Таким образом, приходилось начинать все снова.

Только несколько голых цифр, относящихся, с одной стороны, к исследованию внутренних частичных напряжений в одном 12-дюймовом снаряде Круппа и в двух 11-дюймовых снарядах Обуховского завода; с другой стороны, несколько цифр, притом самых разнообразных, относительно химического состава стали, употреблявшейся на разных заводах для изготовления снарядов, и, наконец, несколько цифр, относящихся до механических качеств кусков стали, вырезанных из различных мест снарядов Круппа и других заводов.

Я не стану перечислять эти цифры, тем более, что они собраны уже в прекрасной статье г. Якимовича, напечатанной в 1883 г. в «Артиллерийском журнале»; там можно найти исторические сведения о введении фабрикации стальных снарядов на наших русских заводах.

Из рассмотрения доставшихся мне данных выяснилось, что внутренние напряжения, развивающиеся при закалке, существуют как в наших, так и в крупповских снарядах; механические испытания качеств стали, вырезанной из различных мест крупповских снарядов, показали, что предел абсолютного сопротивления разрыву колеблется от 9000 *атм* в дне до 13 000 *атм* в головной части снаряда, при удлинении от 4 до 8%, и что в этом отношении некоторые русские заводы стоят очень близко к крупповскому, а Обуховский завод даже иногда и превосходит его; химический анализ стали Круппа показал, что она представляет собою довольно посредственных качеств инструментальную сталь и в своем составе ничего особенного не заключает.

Для того чтобы на первых же порах устранить мистицизм, царивший вокруг снарядного дела, и стать на твердую научную почву при выяснении этого вопроса, я составил себе следующую программу:

1) Надрезать снаряд Круппа вдоль настолько, чтобы потом при помощи клиньев получить продольный излом его; с излома взять в различных местах несколько кусочков стали и произвести химический анализ. Одну половину снаряда разрезать вдоль на бруски, которые подвергнуть различ-

ной обработке ковкою, закалкою, отпусканием, и потом испытать на разрывном прессе.

Вместе с тем, взять один из снарядов Обуховского завода и произвести с ним параллельные предыдущим испытания. Этим путем предполагалось выяснить вопрос о тождественности стали, приготовляемой у нас, со сталью завода Круппа.

2) Изучением строения стали по излому крупповского снаряда, в различных местах, определить — какой обработке она была подвергнута и как распределяется закалка около наружной и внутренней поверхности снаряда.

3) Опытами над образцами и вновь изготовленными снарядами определить — каким путем достигаются те качества, которые замечены на снаряде Круппа, или, иначе сказать, в чем должен состоять способ изготовления стальных бронепробивающих снарядов.

Результаты химического анализа снаряда Круппа и снаряда Обуховского завода в заводской лаборатории выразились следующими цифрами.

Кусочек из крупповского снаряда содержал:

углерода	0,79%
кремния	0,20%
марганца	0,39%

Параллельно с этим снаряд Обуховского завода показал следующий состав:

углерода	0,84%
кремния	0,18%
марганца	0,39%

Это почти одно и то же, потому что если и есть разница в содержании углерода, то она сама по себе незначительна; принимая же во внимание пределы погрешностей анализа, можно сказать, что по составу сталь обоих заводов одинакова. Для большей достоверности такого заключения я просил сделать качественный анализ на другие элементы, присутствием которых можно было бы объяснить приписываемые крупповской снарядной стали особенности, так, например, — нет ли хрома, вольфрама и т. п.; но анализ показал, что если и были, то только следы подобных элементов. Таким образом, с химической точки зрения была достаточно констатирована тождественность стали обоих заводов.

По разрезании снарядов обоих заводов на бруски получены следующие результаты. Бруски, вырезанные из снарядов, без всякой дальнейшей обработки, были подвергнуты разрыву на прессе. Нужно заметить, что взятый для испытания снаряд Обуховского завода был 6-дюймовый, вполне удачно выдержавший пробу — прошел сквозь 9-дюймовую плиту под углом 25° почти без всякой деформации.

Брусок № 1 (см. табл. 1) из крупповского снаряда дал следующие цифры:

Предел упругости	7800 *атм*
Абсолютное сопротивление	10 900 »
Удлинение при разрыве	5,0%

Этот брусок взят из цилиндрической части недалеко от дна; другой брусок, № 2, ближе к головной части, дал большее сопротивление:

Предел упругости	8100 *атм*
Абсолютное сопротивление	12 600 »
Удлинение при разрыве	8,6%

Брусок от 6-дюймового снаряда Обуховского завода, также из цилиндрической части, дал:

Предел упругости	8700 *атм*
Абсолютное сопротивление	13 000 »
Удлинение при разрыве	5,4%

Затем № 4, 5 и 6 представляют результаты испытания брусков крупповского снаряда после отжигания: нагретые до температуры около 700—750°, они оставались в самой печи для медленного охлаждения в течение около 15 час.

Для дальнейшего выяснения тождественности сделан ряд следующих испытаний:

1) Вырезанные бруски были прокованы по возможности при одинаковых условиях; затем обточены без всякой другой обработки.

От крупповского снаряда брусок № 7, прокованный, дал:

Предел упругости	3600 *атм*
Абсолютное сопротивление	8200 »
Удлинение при разрыве	4,1%

Такое маленькое удлинение получилось от плены, образовавшейся во время ковки образца от неровно обломанного края; поэтому опыт был повторен (брусок № 8), причем получились следующие цифры:

Предел упругости	3700 *атм*
Абсолютное сопротивление	8800 »
Удлинение при разрыве	10,2%

Параллельный с этим образец обуховского снаряда дал:

Предел упругости	3600 *атм*
Абсолютное сопротивление	8400 »
Удлинение при разрыве	10,0%

2) Прокованные бруски были охлаждены в горячем масле, приблизительно при температуре 150 °Ц, и затем обточены.

Крупповский брусок № 10 дал:

Предел упругости	8800 *атм*
Абсолютное сопротивление	13600 »
Удлинение при разрыве	4,1%

Брусок обуховского снаряда дал:

Предел упругости	8900 *атм*
Абсолютное сопротивление	13200 »
Удлинение при разрыве	6,1%

Другая пара прокованных образцов, после несколько высшего нагрева охлаждалась в горячем масле при температуре около 250°, дала:

Крупповский:

Предел упругости	9200 *атм*
Абсолютное сопротивление	12900 »
Удлинение при разрыве	6,0%

Обуховский:

Предел упругости	8800 *атм*
Абсолютное сопротивление	12600 »
Удлинение при разрыве	5,3%

Затем брусок № 14 от крупповского снаряда был обработан таким же образом, но температура нагрева была еще выше — ярко-красное каление, а температура масла несколько выше 300°, около точки кипения:

Предел упругости	8900 *атм*
Абсолютное сопротивление	12800 »
Удлинение при разрыве	6,1%

3) Пара брусков, № 15 и 16, после проковки была закалена в воде и затем отпущена при температуре около 350°, что соответствует уже началу периода второй радуги побежалости.

Крупповский образец дал следующие цифры:

Предел упругости	12200 *атм*
Абсолютное сопротивление	14500 »
Удлинение при разрыве	3,7%

Образец обуховского снаряда:

Предел упругости	12000 *атм*
Абсолютное сопротивление	14400 »
Удлинение при разрыве	5,5%

У последнего образца, вероятно, было бы несколько большее удлинение, если бы он не лопнул в заплечике головки, на закруглении.

По поводу цифр последнего крупповского образца, № 15, я желал бы обратить ваше внимание, до какой степени велико частичное сцепление стали. Все предыдущие числа сопротивления относились к первоначальной площади сечения образцов, а не к площади разрыва, и потому не показывают действительной величины частичного сцепления. Этот образец отличается тем, что дал шейку при разрыве с значительным уменьшением диаметра, несмотря на то что был закален и имел такой громадный предел абсолютного и упругого сопротивления:

Первоначальный диаметр образца . .	$d=0'',500$
Диаметр сечения разрыва	$d'=0'',385$

Отнеся абсолютное сопротивление на площадь разрыва, получим сопротивление около 24 500 *атм*.

Все вышеизложенные результаты сгруппированы в следующей таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания брусков, вырезанных из 11-дюймового снаряда Круппа и 6-дюймового снаряда Обуховского завода

№ п. п.	Название образца		Предел упругости, *атм*	Абсолютное сопротивление, *атм*	Окончательное удлинение, %	Длина испытуемой части, дюймы
1	Круппа	Из цилиндрической части, вдоль снаряда	7800	10900	5,0	6,83
2			8100	12600	8,6	6,77
3	Обуховского завода, то же		8700	13000	5,4	7,16
	После отжигания с весьма медленным охлаждением					
4	Круппа	Из цилиндрической части, вдоль снаряда	2200	6800	15,3	4,5
5			2200	6800	15,9	4,0
6			2200	6800	14,0	5,4
	После проковки					
7	Круппа	Плена, а потому повторен	3600	8200	4,1	7,02
8			3700	8800	10,2	5,98
9	Обуховского завода		3600	8400	10,0	6,00
	После проковки закалены в масле					
10	Круппа	Нагрев средний, температура масла около 150°	8800	13600	4,1	5,81
11	Обуховского завода		8900	13200	6,1	5,27
12	Круппа	Нагрев выше, температура масла около 250°	9200	12900	6,0	9,20
13	Обуховского завода		8800	12600	5,3	6,79
14	Круппа	Нагрев еще выше, темперꞏ<ура> масла ок<оло> 300°	8900	12800	6,1	10,29
	После проковки закалены в воде и отпущены при темп<ературе> около 350°					
15	Круппа		12200	14500	3,7	5,98
16	Обух<овского> зав<ода>. Лопнул в головке		12000	14400	0,5	5,99

При исследовании излома снаряда Круппа помощью сильной лупы мною не было найдено никаких внутренних пороков стали ни в головной, ни в цилиндрической части. Взятый на разрезку крупповский снаряд был из числа тех, которые назначаются для снаряжения пироксилином, со вставным дном, и так как он уже был выпущен в броню и потерпел некоторую деформацию, то для более правильного суждения о качествах стали был разбит новый крупповский снаряд под 5-тонным паровым молотом. Положенный боком на наковальню, он разбился на две части под вторым ударом молота с высоты около 4 футов.

Исследование излома этого снаряда помощью лупы также не показало никаких внутренних недостатков стали. Хотя в осмотренных мною неко-

торых из разбившихся на пробе или лопнувших при закалке снарядах Обуховского завода найдены были пороки, в особенности в головной части, но их легко избежать вполне при выделке снарядов из болванок соответственных размеров, в особенности приняв за правило — для каждого снаряда назначать особую болванку, как это давно практикуется для орудий на сталепушечных заводах.

Нам достаточно уже знакомо строение литой стальной болванки и если припомнить ее вертикальный разрез, то всякий согласится, что распределение здоровой и плотной частей металла весьма близко подходит к распределению его в пустотелом снаряде, и потому сам собой напрашивается вопрос: отчего не приготовлять для каждого снаряда отдельную болванку соответственного веса. Это вполне оправдывается на снарядах, получаемых прямо отливкою, без проковки. 11-Дюймовые снаряды, которые я имел случай видеть на Александровском заводе и у А. А. Износкова, если они были отлиты сплошными и пустота растачивалась на станке, не показывали никаких пороков ни в головной, ни в цилиндрической частях.

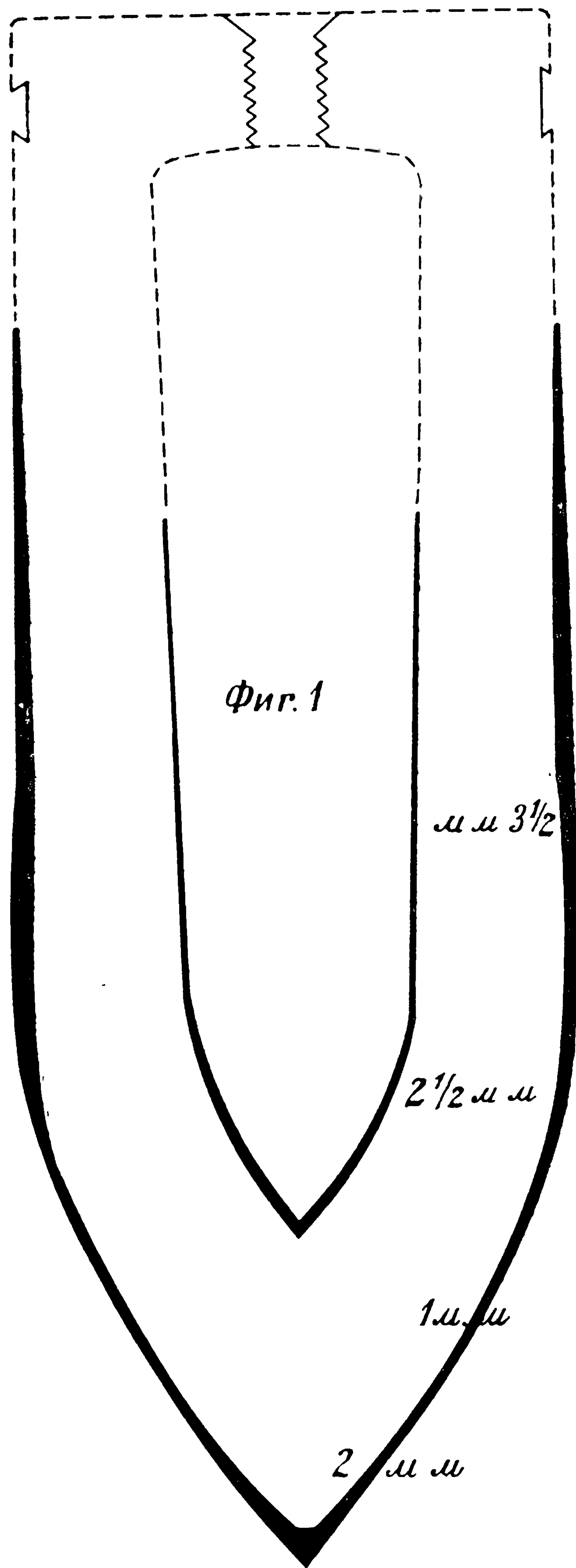
Полагая, что главные недостатки наших снарядов заключаются в способах закалки их, а не в составе стали и не в способе выделки их тем или иным путем, я не стану касаться ни отливки, ни ковки снарядов, ни их отделки; тем более, что в этих отношениях наши заводы достигли вполне удовлетворительных результатов.

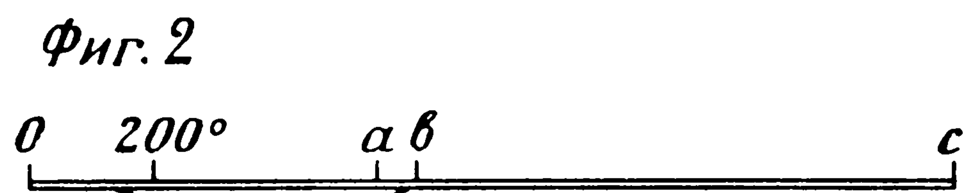
Взглянем теперь на распределение закалки в снарядах Круппа.

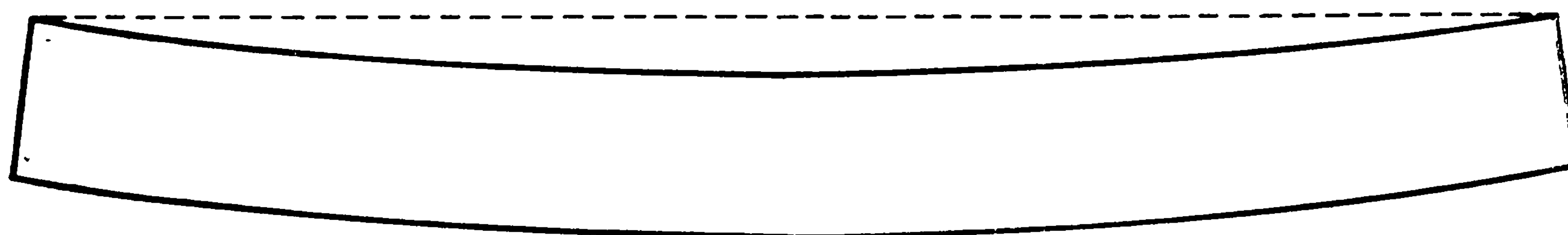
Если для исследования поверхности возьмем напилок и начнем с дна снаряда, то замечаем, что бок снаряда, сначала мягкий, на расстоянии 6—7 дюймов от среза дна представляет уже закаленную поверхность, и напилок скользит по снаряду. Приближаясь к головной части, мы встречаем все более и более сильную закалку до того, что в окружности изолирующего пояска никакая пила лучшего сорта не может сделать царапины; передвигаясь затем к вершине, начинают появляться снова царапины, и хорошая шеффильдская пила начинает действовать, и, наконец, близ вершины можно уже снять несколько металла и получить опилки, причем, однако, пила значительно притупляется.

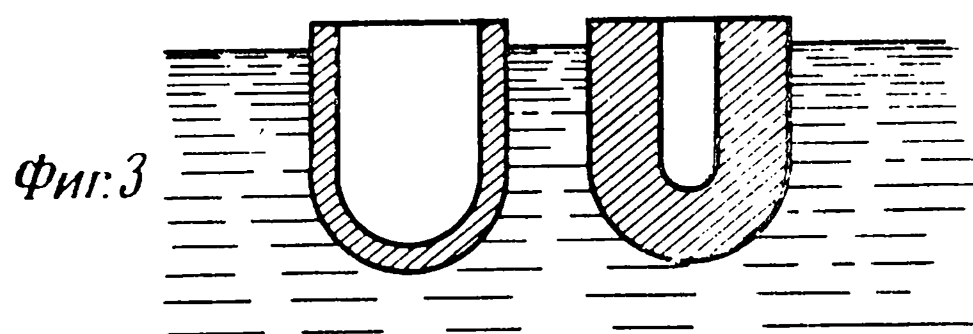
При испытании напилком внутренней поверхности разрезанного снаряда оказалось, что в некотором расстоянии от дна, приблизительно на половине пустоты, начинает появляться закалка в виде пятен — сперва небольших, потом закалка сливается в сплошной слой и постепенно сливается до самой вершины внутренней пустоты снаряда.

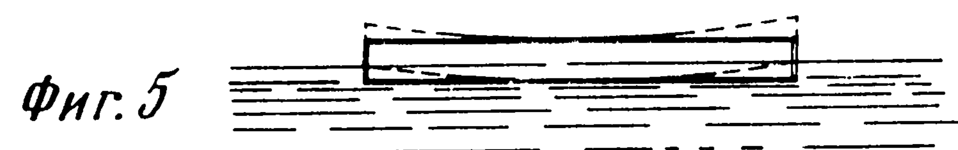
По толщине слоя закалка далеко неодинакова во всех местах, как это видно на фиг. 1 табл. III, представляющей 11-дюймовый снаряд в продольном разрезе; незакаленные части обведены пунктирной линией, а закаленные — сплошной линией, причем толщина линии показывает толщину закаленного слоя. Наибольшая толщина закалки приходится на изолирующий поясок и основание головной части; затем довольно быстро утоняется в обе стороны. В самом пояске толщина закалки достигает $3^1/_2$ до 4 *мм*, а в средине головной части утоняется до 1 *мм* и увеличивается несколько в толщине, приближаясь к самой вершине; зато здесь закалка не достигает той твердости, какая замечается в остальных местах. Что касается

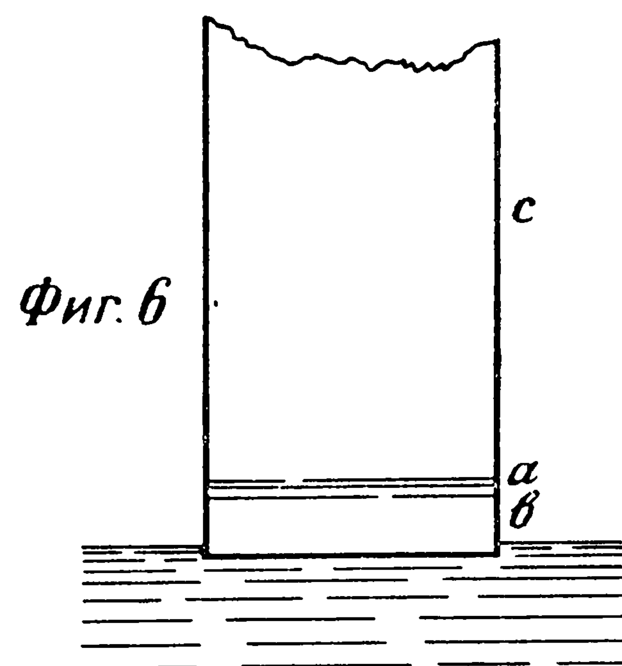

Фиг. 1
м м 3 1/2
2 1/2 м м
1 м м
2 м м

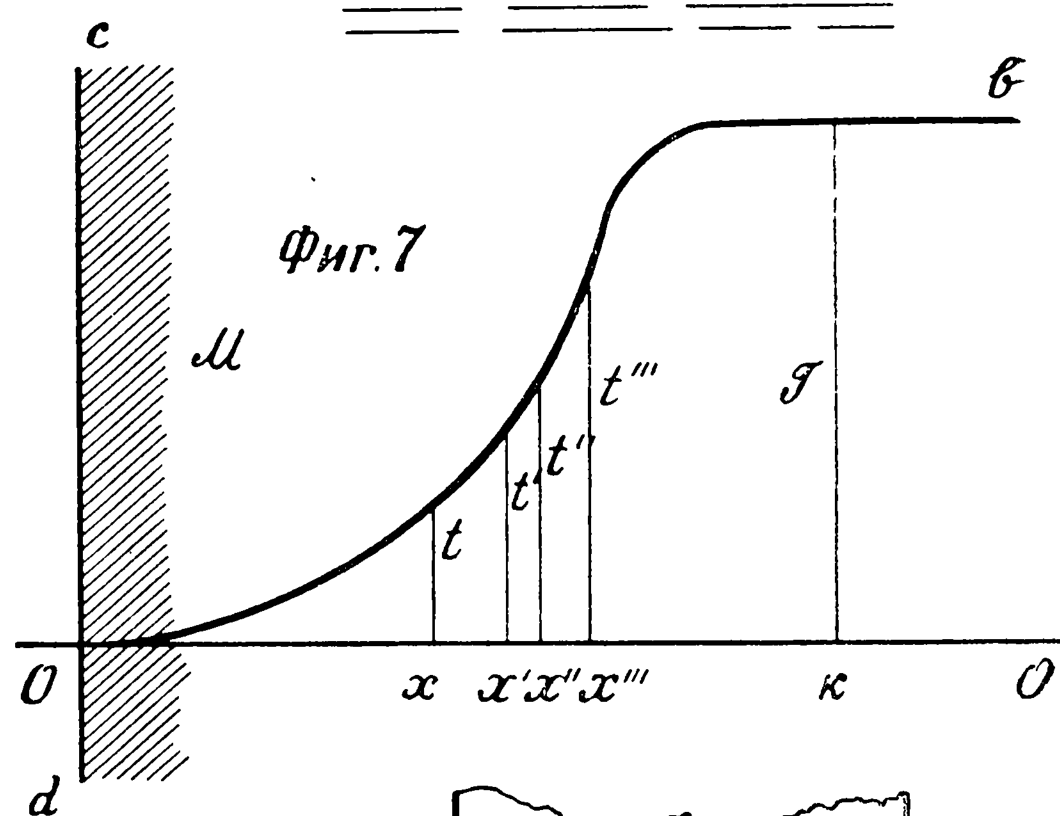

Фиг. 2
0
200°
a
в
c

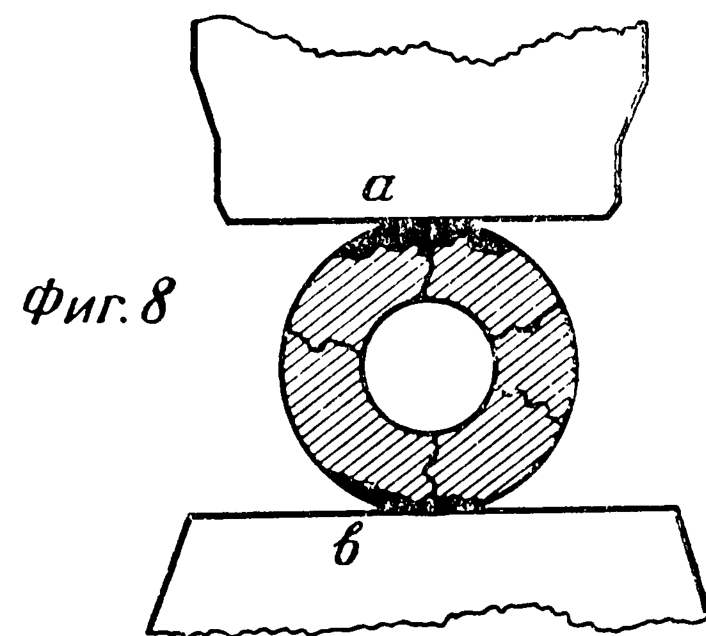

Фиг. 4

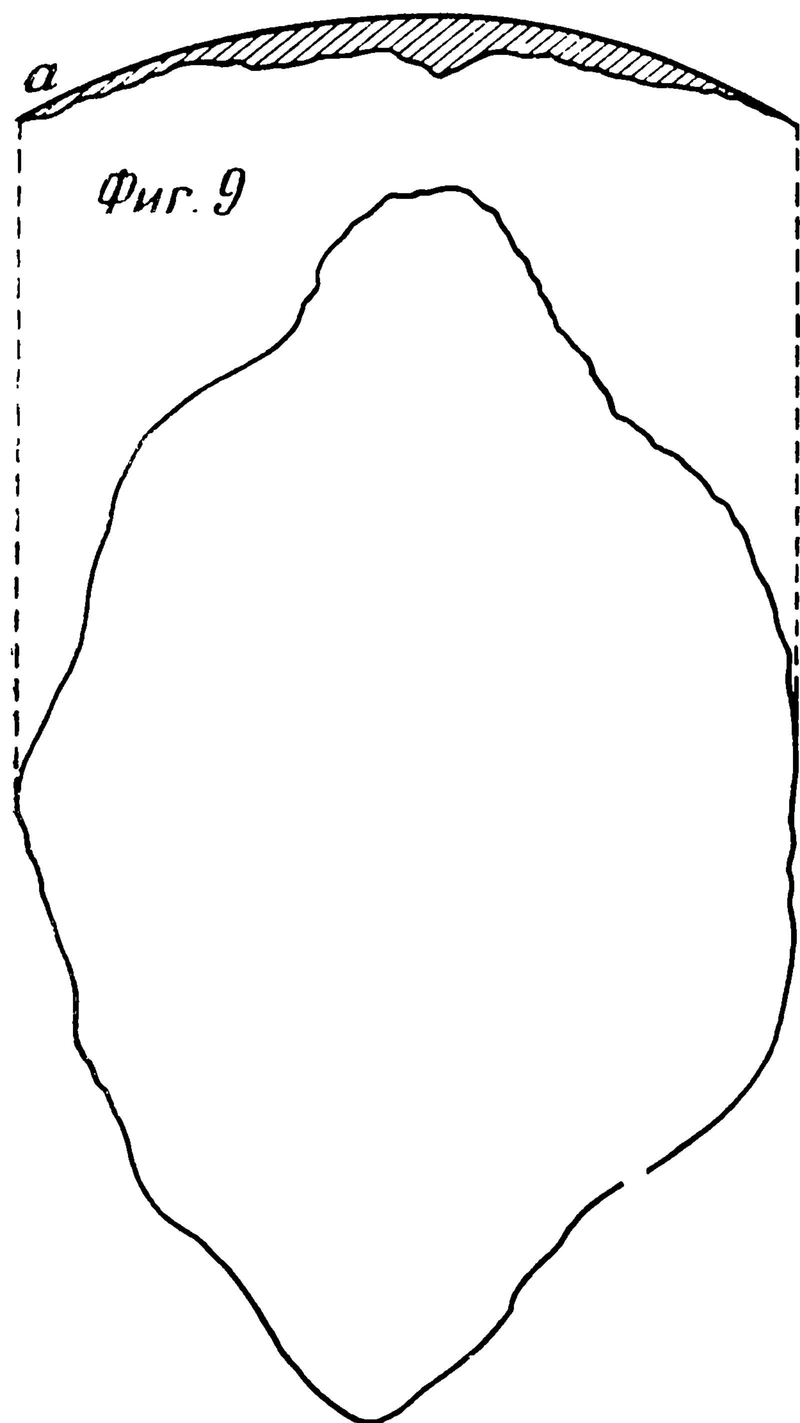

Фиг. 3


Фиг. 5


Фиг. 6
c
a
в

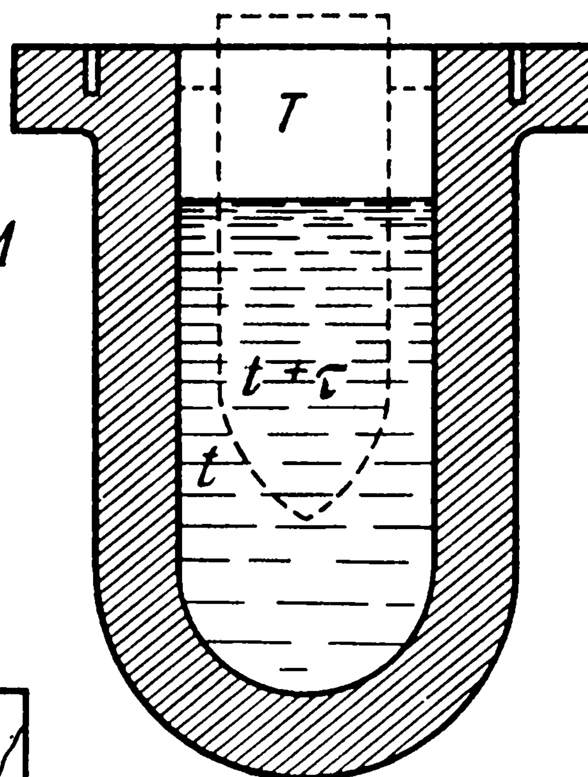

Фиг. 7
c
в
M
T
t
t'
t''
t'''
O
x
x'
x''
x'''
к
O
d


Фиг. 8
a
в

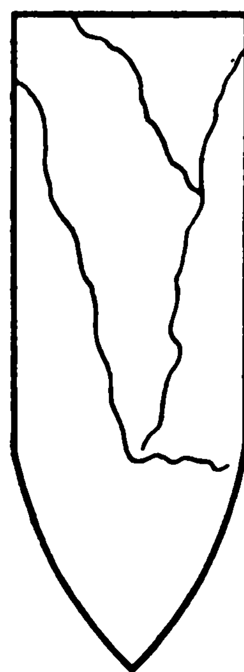


Фиг. 9

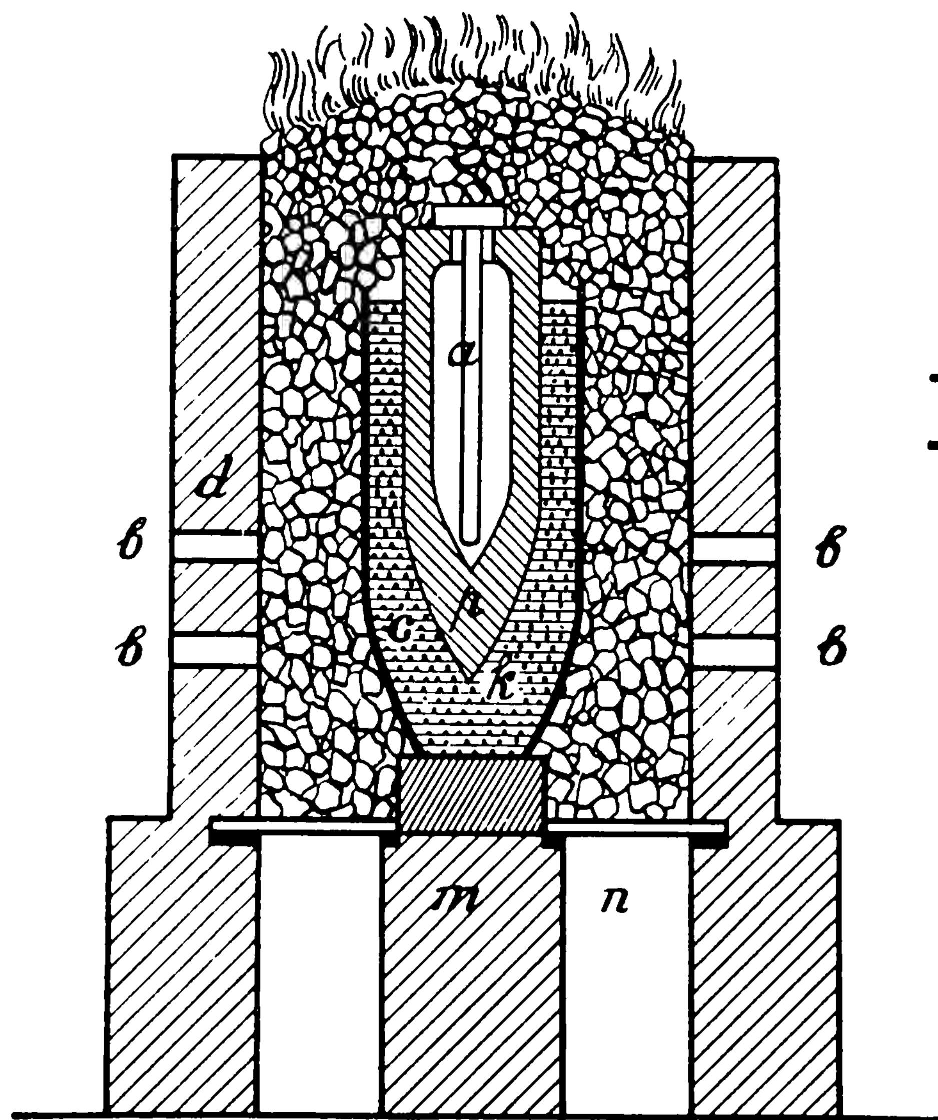
Фиг. 11



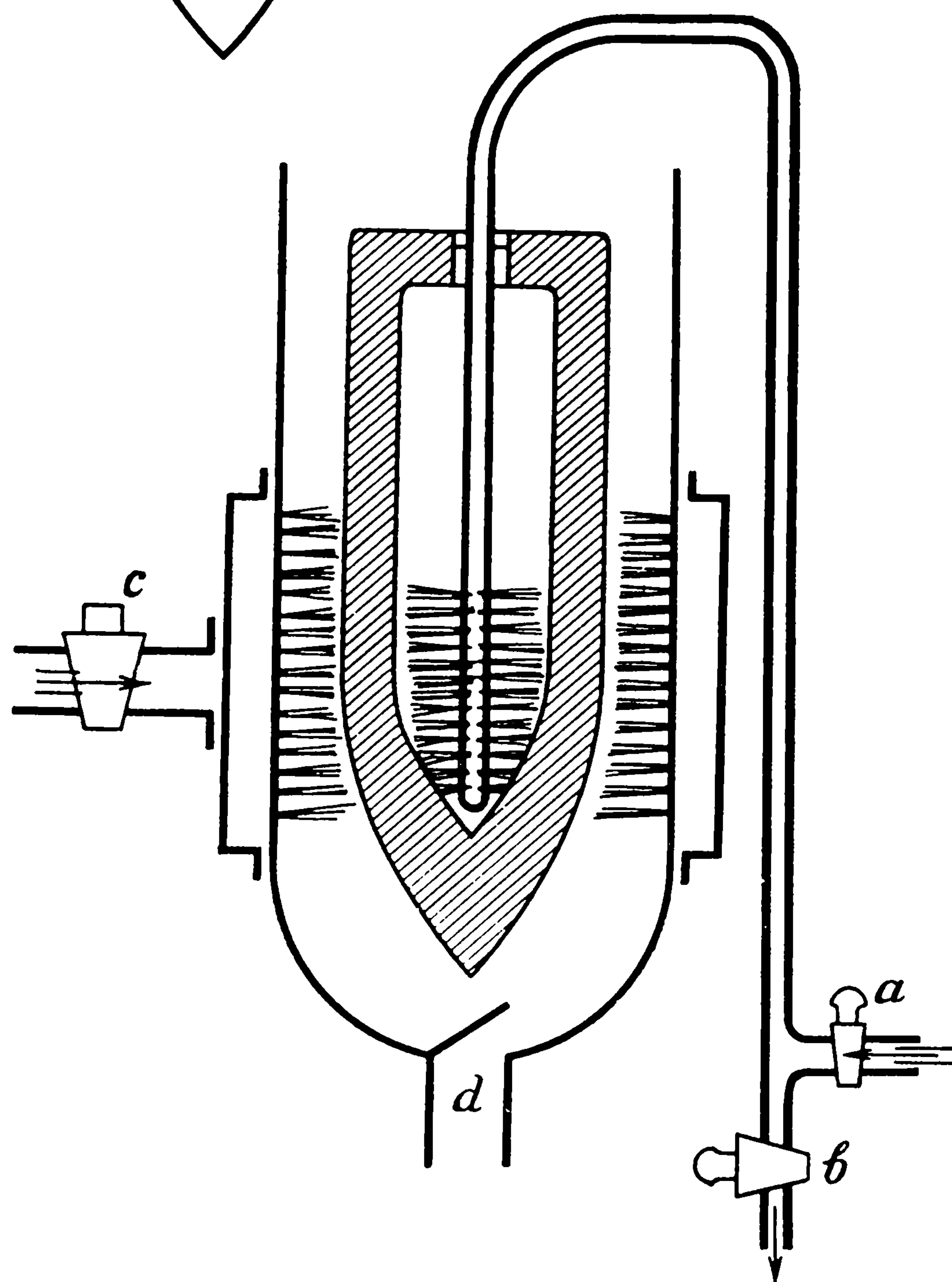
Фиг. 12



Фиг. 10



Фиг. 13



закалки внутренней поверхности, то она постепенно утолщается по мере приближения к вершине, где достигает $2^1/_2$ *мм* в толщину. Сравнивая толщину закаленной поверхности с общей толщиной стенок снаряда, нельзя не сказать, что корка очень тонка сравнительно со всей массой металла снаряда.

Наибольшее внимание ваше, мм. гг., я желал бы обратить на ту особенность закалки, что это есть в полном смысле корка, почти непосредственно прилегающая к остальной мягкой внутренней массе снаряда, мягкой настолько, насколько может быть мягка сталь при содержании около 0,8% углерода, т. е. насколько мягка обыкновенная инструментальная сталь в незакаленном состоянии, и может хорошо обрабатываться пилой. Корка эта так резко отличается от тела снаряда, что в некоторых случаях может местами совершенно отделяться от остальной массы снаряда или же дать тонкие осколки. Здесь нет большого развития посредствующего слоя и тем более нет непрерывного перехода на значительной толщине от твердой поверхности к внутренней, менее закаленной массе снаряда. Как ни незначительно на первый взгляд это явление, однако, по моему мнению, оно одно из самых важных, могущих дать нам указания, как приготовлять вполне удовлетворительные стальные снаряды.

Я постараюсь на основании самых простых сопоставлений, насколько возможно, представить значение такой корки снаряда.

Чтобы выяснить значение общего распределения закаленной части металла по поверхности снаряда, достаточно припомнить, какая задача предстоит снаряду: проникнуть в железную толщу головною частью без сколько-нибудь значительной деформации, т. е. действовать в смысле обыкновенного инструмента, пробойника или керна. Так как вместо удара молотка по инструменту здесь действует инерция движущейся массы снаряда, то наибольшая внутренняя работа будет сосредоточена на том сечении, которое, с одной стороны, встречает на единицу площади наибольшее сопротивление пронизываемой брони, а с другой стороны, принимает на себя передачу наибольшего количества движения частиц, сзади его лежащих, для преодоления этого сопротивления. Такое сечение наибольшего сопротивления соответствует местам, прилегающим к основанию головной части снаряда.

Для пронизания мягкой железной толщи по опыту оказывается совершенно достаточным насталить поверхность [2*] железного инструмента, как это часто бывает в практике; обсыпанием синь-кали железного зубила или сверла с последующей затем закалкой можно получить весьма сносный инструмент для обработки массы мягкого железа, какой представляется железная броня. Следовательно, нет ничего удивительного, если при такой тонкой закаленной корке, какая замечается на снаряде Круппа, головная часть его остается после удара в железную броню весьма мало деформированной. Как у всякого продолговатого инструмента, так и у снаряда, необходимо закалку продолжить далее непосредственно работающего места, тем более, что снаряду представляется в большинстве случаев встречать броню под косвенным углом. Опыт показывает, что если цилиндрическая часть, прилегающая к основанию головной части, закалена слабо, то снаряд при косвенной стрельбе получает большой изгиб в этой части.

Далее можно остановиться на выяснении значения закалки внутренней поверхности снаряда. Имея в виду значительное развитие внутренних напряжений в головной части крупповского снаряда, я задался следующим вопросом: нужна ли закалка внутри снаряда только для того, чтобы по возможности уменьшить, если не уничтожить, вредные внутренние напряжения, развивающиеся при наружной закалке головной части; или же эта закалка необходима для того, чтобы скрепить твердым внутренним кольцом мягкую массу металла при основании головной части и тем предупредить его смятие и, кроме того, помогать сопротивлению наружной корки во время изгиба снаряда при косвенном ударе в броню; словом, нужна ли она также и для того, чтобы составлять одну из существенных частей снаряда, работающих с пользой во время самого удара.

Вопрос этот казался мне чрезвычайно важным. Для решения его я воспользовался случаем частным образом попробовать выстрелом в броню таким снарядом, наружная поверхность которого была закалена весьма близко к тому, что мы видим в снаряде Круппа, а внутренняя поверхность оставлена вовсе без закалки; но при этом были приняты особые меры при закалке, чтобы внутренние напряжения в головной части были доведены до возможного минимума, что хорошо достигалось употреблением горячей ванны, судя по опытам над предшествовавшими этому снаряду экземплярами. Я предупредил, однако, наперед, что снаряд едва ли выдержит испытание, но что для пользы дела важно выяснить влияние отсутствия внутренней закалки и проверить путь, принятый мною для уничтожения вредных внутренних напряжений.

При пробе на охтенском полигоне, 28 февраля, снаряд разбился следующим образом: головная часть вся осталась целой, не получив трещин; один бок снаряда остался при головной части, а другой бок с дном отделился, разбившись в свою очередь на четыре куска, как это видно на фиг. 12. Таким образом, этот опыт [1] показал, что влияние внутреннего напряжения в головной части снаряда было настолько уменьшено или, может быть, даже уничтожено, что никакой трещины в головной части не получилось; кроме того, эта часть не потерпела никакой деформации, что видно из приложения шаблона.

Рассматривая излом снаряда, легко убедиться, что в сечениях при основании головной части металл сселся при ударе, отчего с наружной стороны около изолирующего пояска получились небольшие продольные трещины, как и на снарядах Круппа, а с внутренней стороны, за отсутствием закаленного слоя, смятие выразилось поперечной складкой, по которой произошел отрыв одного бока от головной части. Следовательно, главное назначение внутреннего закаленного слоя заключается в скреплении внутреннего мягкого металла и в возможном предупреждении ссаживания его в сечениях около основания головной части. Смягчение удара на эти се-

[1] Не могу не высказать моего удивления по поводу недоразумения, засчитавшего разбитие этого снаряда за неудачный результат всей моей 8-месячной работы над разработкой способа приготовления снарядов; дальнейшие мои опыты были приостановлены слишком на три месяца, о чем я могу только лишь сожалеть.

чения в крупповских снарядах достигается утончением закаленной корки на самой головной части и сильным отпусканием закаленной вершины; вследствие этого наибольшая деформация крупповских снарядов сосредоточивается в передней половине головной части, от чего и зависит их меньшая бронепробивающая способность.

Выстрел был сделан под углом 25°; железная броня $15^1/_2$ дюймов толщиною была пронизана во всю толщу до сруба и дала сквозную трещину во всю ширину сверху донизу, причем сорвало несколько болтов и ширина самой трещины достигла до 4 дюймов; со стороны выстрела броня получила входящий угол.

Зная и цель и необходимость закалки в тех местах, в которых она замечается в снарядах Круппа, мы можем теперь остановиться на выяснении значения сравнительно весьма малой толщины закаленной корки этих снарядов и резкого отличия ее от остальной массы снаряда.

Если мы обратимся к свойствам закаленной и незакаленной, отожженной, стали в отдельности, то увидим совершенную противоположность их: закаленная сталь обладает большой твердостью, незакаленная — мягка; первая — хрупка, вторая — вязка; первая при сравнительно легком ударе молотка разбивается на куски, подобно стеклу, вторая после нескольких ударов может быть только смята.

Есть еще весьма важное свойство стали, заставляющее иногда избегать ее употребления, — это способность быстро распространять трещины по массе металла. Наглядно можно представить себе такое свойство на простом опыте: если туго натянутую барабанную перепонку или пузырь где-нибудь надрезать, тогда перепонка быстро разрывается по разным направлениям от одного края до другого. Такое свойство обнаруживается даже в самой мягкой стали, например в котельных листах. Замечательно, что свойство это не обнаруживается на образцах, отрезаемых от листов для пробы; такие образцы иногда показывают большую тягучесть и при разрыве на прессе дают удлинение свыше 25% при длине испытуемой части в 8 дюймов; тогда как цельный лист, поставленный на стенку котла, иногда после склепки вдруг получает сквозную трещину, разрывается пополам; такие случаи были неоднократно наблюдаемы при котельных, судовых и мостовых работах.

Сталь, употребляемая на части машин, на большие пароходные валы, артиллерийские орудия, представляет материал весьма тягучий, если судить по пробным образцам. Так, например, сталь, идущая на выделку орудий, дает в образцах из ствола 15—20% удлинения при разрыве; но когда орудие разрывается при выстреле, то металл разлетается на куски, не обнаруживая ни малейшего удлинения в местах разрыва. То же замечается и с крупными машинными частями; нередки случаи, когда важная часть на судне, вал, при известной случайности разламывается моментально, не давая ни малейшего прогиба или удлинения.

Это свойство может быть уменьшено или даже совсем уничтожено хорошим отжиганием, т. е. весьма медленным охлаждением после того, как предмет нагрет до слабого красного каления. Но если затем предмет подвергается какой-либо механической обработке, — часто, впрочем, очень

незначительной, — то свойство это может к нему возвратиться или по всей массе, или только в некоторых местах; например если котельный лист после отжигания выгибается по шаблону или в валках, орудие или вал подвергается обточке или сверлению, то даже от действия инструмента при снимании стружек вызывается внутреннее напряжение в большей или меньшей степени, которое и служит причиной быстрого распространения трещин по массе металла. Замечательно то, что такое свойство в сварном железе замечается редко и то в слабой степени; масса сварного железа или цеметной рафинированной стали не представляет, конечно, той однородной непрерывности, какая свойственна литому металлу.

Вот почему практика предпочитает употреблять сварное железо, где это возможно, вместо мягкой стали или литого железа; а когда непременно нужна твердая поверхность, часто прибегает к осталиванию [3*] железа или к наварке на него тонкого слоя стали. Это мы видим, например, на наковальнях и молотках, предметах, наиболее работающих и едва ли не наиболее долговечных из всех инструментов.

Несколько раз были попытки приготовлять и снаряды из мягкого железа с наваркой на поверхность тонкого слоя стали; в сталежелезных бронях настоящего времени мы видим то же самое; но только практические затруднения при наварке твердой стали на железо так велики, что все подобные попытки не могли увенчаться полным успехом. В самом деле, при такой приварке нужна слишком высокая температура для стали и в то же время слишком низкая для железа: твердая сталь при малейшем перегреве способна рассыпаться, а железо, нагретое сравнительно низко, при обработке (ковке, прокатке) будет расслаиваться в различных местах сварки составляющих его пакетов и потеряет ту степень плотности и непрерывности, которую имело до сварки.

Весьма большая польза комбинации сравнительно мягкой массы внутри и твердой оболочки снаружи очень рельефно обнаруживается даже и в чугунных изделиях, например в высоких качествах отливок из закаленного чугуна: артиллерийских снарядов, листокатальных валков, железнодорожных стрелок и крестовин и т. п. Здесь соединение оболочки с телом происходит во время самой отливки, вполне совершенное, без всяких пороков и потому чрезвычайно прочное; но как в таких снарядах, так в валках и т. п. непосредственными многочисленными опытами выяснено, что при увеличении толщины твердого слоя закаленного чугуна за известный предел прочность предмета быстро понижается, является способность быстрой передачи наружных трещин на большие расстояния — способность, характеризующая более или менее напряженное состояние частиц в массе закаленной стали. Так, для прокатных валков большого диаметра толщина закаленного слоя должна быть около одного сантиметра, то же самое и для снарядов из закаленного чугуна, если мы желаем, чтобы они обладали большой прочностью; одним словом, отношение толщины закаленного слоя к общей массе имеет здесь весьма важное значение.

Мм. гг., по моему убеждению, весь секрет приготовления крупповских снарядов заключается в том, что там тонкая твердая оболочка искусно

и прочно соединена с сравнительно мягким телом снаряда; трещины на оболочке не распространяются насквозь по телу снаряда, и он при ударе в броню не разлетается на куски.

При первом взгляде на крупповский 11-дюймовый снаряд, выпущенный в броню, видно несколько небольших продольных неглубоких трещин при основании головной части и по изолирующему пояску. Внутренняя часть снаряда, ссаживаясь при ударе, распирает оболочку, которая за отсутствием тягучести получает трещины, но трещины эти не распространяются вглубь, проникая на незначительную глубину, едва только дальше закаленного слоя.

Мм. гг., все, что я сказал, не представляет ничего нового, ничего особенного; но я считал необходимым все это напомнить, чтобы скорее приблизиться к решению занимающего нас вопроса.

Мы теперь сделали необходимое знакомство со снарядом Круппа; мы видели, что там сделано, знаем, для чего это сделано именно так; остается только сказать — как это сделать. Для этого прежде всего остановимся несколько на процессе закалки, на условиях, при которых закалка проявляется в большей или меньшей степени, и вообще несколько ближе познакомимся с этим явлением.

Вопрос этот принадлежит к числу весьма сложных и важных в технике, имеющей постоянное дело со сталью, и потому с давних пор к нему обращались работы многих исследователей, между которыми мы встречаем имена Реомюра, Карстена, Ринмана, Кармарша, Риша, Карона, Жюльена, Окермана и других; в последнее время весьма интересны работы гг. Юза и Абеля, внесенные в Лондонское общество инженеров-механиков, именно в специальную комиссию по исследованию закалки стали; к числу членов этой комиссии я имею честь принадлежать с 1880 г. и потому имел случай познакомиться с некоторыми из последних работ по этому вопросу. Но все до сих пор составленные теории настолько несовершенны, что не дают возможности на основании их сделать решительный шаг при изготовлении стальных снарядов, хотя некоторые явления в отдельности разработаны довольно тщательно.

Не входя в рассмотрение теорий, построенных на основании некоторых отдельных наблюдений, необходимо остановиться на некоторых существенных элементах закалки, а именно: на пределах температур нагрева и охлаждения, на пределе скоростей охлаждения и на величине и направлении изменений объема стали при закалке. Рассмотрение этих трех элементов для нашей цели будет достаточно.

Мы уже знаем, что для получения закалки при быстром охлаждении необходимо, чтобы сталь была нагрета не ниже некоторой определенной температуры, которую назовем буквой a, как она была уже названа прежде (см. фиг. 2). Если же сталь нагрета до температуры ниже a, тогда от быстрого охлаждения она не только не закаливается, но в очень многих случаях становится мягче, нежели была прежде; стало быть, температура нагрева составляет один из существенных элементов закалки. Высота температуры a, будучи переменной для различных сортов стали, смотря по содержанию углерода, может быть обозначена цифрою только прибли-

зительно; а именно для инструментальной стали можно считать ее около 700—750° по Цельсию [2].

С другой стороны, температура, до которой непременно нужно спуститься при быстром охлаждении стали при закалке, есть также некоторая определенная величина; ее можно выразить также цифрою приблизительно 200° Цельсия. Таким образом, полная закалка может совершиться только при быстром понижении температуры от высшей *a* до низшей 200°.

Эта температура может быть определена на том основании, что готовая закаленная сталь, будучи нагреваема до температур, низших 200°, не показывает чувствительных изменений в своих свойствах. Изменение начинается тогда, когда при нагревании замечается легкая побежалость, соединенная с легким окислением поверхности, совпадающая с температурами, высшими 200°, например если сталь будет нагрета до температуры около 220°, тогда замечается легкая желтая побежалость и вместе с тем некоторое ослабление хрупкости и твердости закаленной стали. Следовательно, с большим правом можно считать температуру 200° за такую, после которой начинается некоторое изменение свойств, отличающих сильно закаленную сталь. Дальнейшее отпускание или смягчение свойств закаленной стали производится нагреванием до различных температур, которые стоят в совершенном соответствии с цветами побежалости: 200° соответствуют слабому желтому цвету; 235° — овсяно-желтому, 245—250° — буро-желтому, с 265° начинается пурпуровая побежалость; затем пурпуровый цвет сменяется голубым, синим, темно-синим, водянисто-зеленым и, наконец, при 340—345° первая радуга прекращается, появляется поверхность чистого металлического цвета с сероватым оттенком. При дальнейшем повышении температуры появляется вторая радуга: все те же цвета и в том же порядке, как и при первой радуге, но промежутки температур для каждого цвета меньше, чем при первой, так что вся вторая радуга заключается в более тесных пределах температур. После исчезновения второй радуги наступает уже образование некоторой пленки окалины. Эти цвета побежалости нам тотчас же пригодятся при предварительных изысканиях способа изготовления снарядов.

Таким образом, пределы температур нагрева и охлаждения составляют один из существенных элементов закалки: непременно нужно, чтобы нагрев был выше температуры *a* и быстрое охлаждение было доведено до температуры низшей 200°. На практике, однако, замечается, что сталь при погружении только в *холодную* воду получает сильную закалку, а по мере того как вода берется более теплой, сила закалки весьма заметно убывает до того, что в воде, нагретой до точки кипения, сталь вовсе не закаливается. Из этого можно было бы заключить, как это часто и встречаем, что будто при температуре 100° сталь уже перестает закаливаться. Однако здесь имеет значение совсем другой элемент закалки, — это именно скорость охлаждения, или время, в течение которого температура стали понижается от *a* до 200°, а вовсе не абсолютная высота температуры 100°.

---

[2] Это указание сделано ранее появления работ Осмонда. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

Что при температуре 200° сталь принимает сильную закалку, в том можно легко убедиться, погружая раскаленный кусок твердой стали в металлическую ванну, температура которой 200° или несколько ниже, например 195°. Здесь вы видите, мм. гг., несколько образцов снарядной стали, закаленных в сплаве свинца с оловом, плавящемся при температуре 184°. Сплав этот был нагрет до 200°, и в нем были закалены эти образцы, причем для ускорения охлаждения они приводились при погружении в сплав в быстрое движение. По твердости эти образцы одинаковы с закаленными в холодной воде и так же режут стекло, как и те. Следовательно, мы смело можем сказать, что при быстром охлаждении от температур, высших *a*, до температур, низших 200°, получается полная закалка.

Если мы обратимся теперь к быстроте охлаждения, о которой так часто говорится при закалке, то, сколько мне известно, Карон был едва ли не единственный писатель, указавший эту скорость в цифрах. Мы привыкли говорить, что закалка получается при быстром охлаждении; но чтобы разумно руководствоваться этим правилом, необходимо знать возможно точнее эту быстроту, знать, по крайней мере, наибольший предел до того промежутка времени, в течение которого должно непременно совершиться требуемое охлаждение, чтобы получилась закалка.

Карон закаливал один и тот же сорт стали в различных жидкостях с различными скоростями и получил следующие результаты:

1) В холодной воде, при начальной температуре 10°, брусочек стали остыл в течение 4,7 сек.; температура воды при этом возвысилась до 22°.

2) В горячей воде, при температуре 50°, брусочек остыл в течение 11,3 сек.; вода к концу охлаждения нагрелась до температуры 61°.

3) В воде с примесью 10% декстрина, при начальной температуре 10°, скорость охлаждения брусочка была 13,2 сек.; вода нагрелась до 23°.

4) В алкоголе 36° Боме, при начальной температуре 10°, скорость охлаждения бруска 21,7 сек.; алкоголь нагрелся до 30,5°.

Первый брусочек получил хорошую, твердую закалку, второй — слабую, третий — очень слабую и, наконец, в четвертом бруске не было заметно вовсе никакой закалки.

Говоря о скорости охлаждения в какой-либо жидкости, нужно непременно иметь в виду, что скорость эта зависит от многих обстоятельств: от величины охлаждаемой массы, от подвижности жидкости, ее теплопроводимости, температуры, теплоемкости, высоты точки кипения и т. п. Вместе с тем скорость охлаждения одной и той же жидкости зависит и от способа действия ее: будет ли закаливаемый предмет спокойно погружаться в жидкость, или двигаться в ней с большей или меньшей быстротой, или, наконец, сама жидкость будет бить струей на охлаждаемую поверхность предмета. В том же самом сплаве, о котором я упомянул выше, можно получить или сильную закалку, или только очень слабую, смотря по тому, как держать закаливаемый предмет в ванне, т. е. смотря по скорости смены прилегающих к предмету и нагревающихся от него частиц жидкости; с быстротой смены омывающих частиц связана и быстрота отдачи теплоты, т. е. один из существенных элементов закалки.

Кароном был прослежен и выражен в цифрах тот промежуток времени, который нужен для охлаждения до сравнительно весьма низкой температуры; но так как закалка фиксируется уже при прохождении чрез температуру 200°, то для самой закалки нужно меньше времени, нежели то выходит по цифрам Карона. Я сделал несколько опытов для приблизительного определения наибольшего промежутка времени охлаждения до температуры 200°, чтобы могла еще получиться заметная закалка.

Для этого было приготовлено из снарядной стали несколько чашечек или цилиндриков с полусферическим дном (см. фиг. 3), при различной толщине стенок, от $^3/_8$ до $^5/_8$ дюйма. Раскалив такую чашечку до температуры, несколько высшей *a*, я погружал ее быстро в воду, не доводя, однако, до верхнего края, замечал время погружения и тотчас же вливал в чашечку несколько капель расплавленного олова. Помешивая олово во время охлаждения, я легко находил тот момент, когда оно начинает застывать. Хотя температура плавления олова выше 200°, а именно около 230°, но как раз эта высшая температура давала мне сама собой поправку на мою ошибку в наблюдении времени. Можно положить, что когда внутренняя поверхность чашечки остынет приблизительно до 210°, тогда только она успеет отнять излишнюю теплоту от жидкого олова, и оно начнет загустевать; пока затем отсчитывается время по секундной стрелке часов, температура дна чашечки достигнет 200°.

Дальнейшее охлаждение происходило уже при полном погружении чашечки в воду. Исследуя инструментом дно чашечки и, наконец, разбивая эти цилиндрики, я пробовал определять напилком степень полученной закалки; оказалось, что если время охлаждения превышает 8 сек., то никакой закалки не получается.

Как ни груб такой способ определения времени охлаждения, однако можно считать его достаточным для приблизительного ознакомления с крайним пределом скорости для получения заметной закалки.

Следовательно, можно сказать, что для получения хорошей закалки нужна весьма значительная скорость охлаждения, не превышающая 4—5 сек., и что излишнее промедление в охлаждении на 3—4 сек. влечет за собой полную неудачу операции. Эти цифры достаточно рельефно объясняют ту ловкость и сноровку, иначе сказать, то искусство, которое требуется от хорошего закальщика.

Третий элемент, который мы предположили рассмотреть и который есть уже последствие первых двух, — это изменение объема стали при закалке как показатель величины внутренних частичных напряжений в закаленной стали. В этом отношении наиболее известны также измерения Карона, которые, впрочем, повторяются в различных сочинениях и на которые так часто опираются при рассуждениях о закалке. Однако не все экспериментаторы приходили к одинаковым выводам относительно величины и направления изменений объема стали при закалке, а сообразно с этим и самые теории, построенные на полученных данных, принимали весьма различный характер. Так, например, с одной стороны, замечается увеличение объема стали в связи с уменьшением ее удельного веса; а результаты измерений Карона показывают, что при общем увеличении

объема брусочки кованой стали, увеличиваясь в толщину, уменьшаются в длину от закалки, и что брусочки, полученные прокаткою стали в валках, увеличиваются в длину от той же операции, — притом же с каждым последовательным повторением закалки одного и того же брусочка изменения эти продолжают идти в том же направлении и почти с постоянной силой; с другой стороны, некоторыми исследователями заявлены факты, доказывающие уменьшение объема при закалке в связи с увеличением удельного веса.

Ввиду противоположности таких последствий одной и той же причины, интересно было опытным путем выяснить эту сторону вопроса. С этой целью я произвел сначала несколько опытов искривления брусочков помощью закалки, погружая их в воду одним боком, так, чтобы приблизительно одна треть толщины бруска была в воде, как показано на фиг. 5.

Если температура нагрева перед погружением была выше *a*, то нижний бок бруска закаливался и самый брусок сильно искривлялся, причем выпуклость в с е г д а была со стороны закаленного бока. Но чтобы вместе с тем определить и степень изменения объема стали при закалке, я делал измерения следующим образом. На каждом бруске с двух противоположных сторон близ концов острым керном ставились точки; расстояние между точками измерялось помощью штангенциркуля с точностью до 0,0025 дюйма; после закалки углубления точек тщательно очищались от окалины, и ножки штангенциркуля устанавливались на прежние места с помощью лупы.

Сперва я произвел опыты с брусочками $^1/_4$ дюйма в квадрате; но оказалось, что при такой малой толщине трудно достигнуть того, чтобы верхний бок не получил большей или меньшей закалки, хотя и не погружался в воду; поэтому следующие затем опыты производились с брусочками $^1/_2$ дюйма в квадрате. Результаты опытов можно видеть из следующих примеров.

1) Брусок $^1/_4$ дюйма в квадрате; длина верхнего бока, т. е. расстояние между кернами на верхнем боку бруска 6,2075 дюйма, на нижнем — 6,4450 дюйма. Температура нагрева выше *a*; нижний бок принял сильную закалку, верхний бок тоже закалился, но слабее. Измерение после закалки: длина верхнего бока 6,2200; нижнего бока 6,4675, следовательно, увеличение длины верхнего бока=0,0125 дюйма, а нижнего бока =0,0225, или 0,333%; брусок искривился, как показано пунктирной линией на фиг. 5, т. е. выпуклость получилась со стороны быстрого охлаждения.

2) Брусок $^1/_4$ дюйма в квадрате; длина верхнего бока 6,5050, нижнего 5,8625 дюйма. Температура нагрева — темно-красное каление, несколько ниже *a*; после погружения брусочек не получил никакой закалки. Измерение после погружения: длина верхнего бока 6,5050 дюйма, нижнего 5,8600; следовательно, верхний бок остался вовсе без изменения, а нижний уменьшился на 0,0025 дюйма. Брусок искривился в обратную сторону против предыдущего, — небольшая вогнутость получилась со стороны быстрого охлаждения.

На фиг. 4 представлен в натуральную величину брусочек, искривленный тремя последовательными закалками с одного и того же бока;

длина бруска 4,4 дюйма, толщина $^1/_2$ дюйма в квадрате, прогиб 0,125 дюйма.

3) Брусок $^1/_2$ дюйма в квадрате; длина верхнего бока, между метками, 5,2275 дюйма; нижнего бока 5,4200 дюйма; после охлаждения погружением нижнего бока в воду до половины толщины он хорошо закалился и получил выпуклость, верхний бок получил весь слабую закалку и вогнутость. Измерение после охлаждения: длина верхнего бока 5,2300, а нижнего 5,4375; следовательно, верхний бок удлинился на 0,0025 дюйма, а нижний на 0,0175 дюйма, или 0,32% первоначальной длины.

Следующие примеры представляют изменение длины кованых стальных брусочков при полной закалке их со всех сторон. Результаты получились противоположные результатам Карона: вместо укорочения все бруски дали увеличение длины после закалки. Считаю необходимым заметить, что я не мог избежать трещин на брусочках, если они подвергались повторительной закалке несколько раз; редко удавалось закалить один и тот же брусочек больше 4 раз, не получив на нем трещин, уже хорошо заметных в лупу, а потому я не мог сделать такого длинного ряда наблюдений, какой удался Карону при 20 и даже 30 раз повторенной закалке одного и того же бруска стали, причем длина его уменьшилась на 10% первоначальной величины.

При опытах полной закалки брусочков в вертикальном положении весьма трудно достигнуть вполне равномерного нагрева со всех сторон, а также и охлаждение в воде идет неравномерно со всех сторон бруска; во всяком случае, нужно ожидать искривления бруска во время закалки; а следовательно, измерение его до и после закалки только с одной какой-либо стороны может повести к неправильным заключениям. Поэтому при следующих опытах я продолжал ставить метки с двух противоположных сторон бруска, так что за истинное изменение его длины вернее следует считать среднюю арифметическую величину его изменений с обеих сторон. Результаты измерений брусков после закалки помещены в следующей таблице.

Из таблицы 2 видно, что при первой же закалке происходят наибольшие изменения в размерах и что длина брусков всегда при закалке увеличивается. Изменения при повторительной закалке так малы, что едва превышают ошибки измерения и притом иногда имеют отрицательный знак. При второй закалке бруска № 6 был дан очень сильный нагрев, какой обыкновенно никогда не дается при закалке; однако вторая средняя разность составляет только 20% первой средней разности; после этой закалки получилась довольно крупная грануляция в изломе, а на поверхности бруска заметны в лупу мелкие трещинки; таким образом, продолжать повторение закалки было бы бесполезно.

Из многих других опытов, произведенных мною над снарядной сталью, оказывается, что изменение размеров стального куска идет по всем направлениям почти одинаково, насколько можно иметь одинаковый нагрев и одинаковое охлаждение со всех сторон, и что с достаточной точностью для практики можно принять линейное увеличение при хорошей закалке в $^1/_3$ процента, если размеры предмета невелики.

Таблица 2

Изменения длины кованых стальных брусочков от закалки и отпускания

№ бруска	Расстояние между метками до закалки, дюймы	То же после 1-й закалки, (дюймы)	1-я разность	Расстояние после 2-й закалки	2-я разность	Средняя 1-я разность, % первоначальной средней длины
4	5,4625	5,4800	+0,0175	5,4800	0	0,336
	5,6900	5,7100	+0,0200	5,7125	+0,0025	
6	5,5950	5,6125	+0,0175	5,6150 *[1]	+0,0025	0,332
	5,7000	5,7200	+0,0200	5,7250 *[1]	+0,0050	
7	5,3950	5,4150	+0,0200	5,4125	+0,0025	0,302
	5,3475	5,3600	+0,0125	5,3625	+0,0025	
8 *[2]	5,5400	5,5550	+0,0150	—	—	0,323
	5,2875	5,3075	+0,0200	—	—	
			Температура нагрева ниже *a*			
9	5,6725	5,6670	—0,0055	—	—	
	5,2000	5,1910	—0,0090	—	—	
	После 1-й закалки	После 1-го отпускания	1-я разность	После 2-го отпускания	2-я разность	
8	5,5550	5,5475 *[3]	—0,0075	5,5460 *[5]	—0,0015	
	5,3075	5,2925 *[4]	—0,0150	5,2925	0	

*[1] Нагрев при закалке очень высокий. *[2] Измерение брусков № 8 и 9 производилось с точностью до 0,0005 дюйма. *[3] Этот бок отпущен до желтой побежалости. *[4] Этот бок отпущен до синей побежалости. *[5] Весь брусок отпущен до синей побежалости.

Нам известно, что свойства закаленной стали изменяются, когда она отпускается, т. е. нагревается свыше 200°, причем цвет побежалости указывает температуру нагрева или степень отпуска. Для того чтобы привести в связь изменение объема при закалке и отпускании, достаточно принять во внимание, что если закалка необходимо соединена с увеличением объема стали, то уничтожение или уменьшение степени закалки должно быть соединено с соответственным уменьшением ее объема. Это видно на следующем примере. В предыдущей таблице, брусок № 8, предварительно закаленный в воде, был подвергнут двукратному отпусканию. При самой закалке брусок увеличился в длину с одного бока на 0,0150 дюйма, а с другого на 0,0200 дюйма. Затем один бок бруска был нагрет до желтой побежалости, а другой — до синей; при этом брусок заметно искривился с выпуклостью в сторону желтой побежалости; эта последняя сторона уменьшилась на 0,0075 дюйма, а синяя сторона уменьшилась на 0,0150 дюйма; следовательно, после синего отпускания осталось еще увеличение на 0,0050 дюйма против первоначальной длины этого бока. Потом нагревание было повторено — весь брусок отпущен равномерно до синего цвета; отпущенная прежде до желтого цвета сторона бруска уменьшилась еще на 0,0015 дюйма, а другая осталась теперь без

изменений. Наконец, брусок № 9, быстро охлажденный в воде после нагрева до темно-красного цвета, несколько ниже *a*, получил меньшую длину после этой операции; вместо закалки сталь, напротив того, сделалась мягче, нежели была после проковки.

В связи с этими опытами я желал бы указать на упомянутую выше работу г. Абеля, касающуюся химической стороны этого вопроса, т. е. тех изменений, которые претерпевает углерод при закалке и отпускании стали. Вопрос о состоянии углерода в стали чрезвычайно интересен, в особенности в том освещении, какое дано ему почтенным химиком. Целый ряд опытов и химического анализа над закаленными и в различной степени отпущенными тонкими пластинками стали привел г. Абеля к следующим выводам.

Углерод в незакаленной, отожженной стали распределяется по всей массе в виде некоторого определенного химического соединения с железом в виде карбида, как он назвал его, где на 3 атома железа приходится один атом углерода (Fe_3C). В сильно закаленной стали весь углерод распределен по массе стали в аморфном состоянии, не представляя какого-либо определенного химического соединения с железом. Если закаленную сталь подвергать отпусканию, то по мере нагревания замечается образование этого химического соединения углерода с железом, т. е. этого карбида. Чем выше была нагрета сталь, т. е. чем сильнее было отпускание, тем большее количество заключающегося в стали углерода входит в определенное химическое соединение с железом и тем меньшее количество углерода остается в аморфном состоянии. Большая или меньшая продолжительность отпускания при одной и той же температуре также оказывает некоторое влияние на количество углерода, переходящего в соединение карбида. При отпускании до синего цвета остается еще около половины всего углерода стали в аморфном состоянии.

При таких условиях является возможность химическим путем узнавать, что сделано со сталью: была ли сталь закалена вполне, была ли она отпущена до желтого или синего цвета или же была вполне отожжена. Во всяком случае, важен тот факт, что с изменением объема и твердости стали при закалке, отпускании и отжигании изменяется вместе с тем и состояние содержащегося в стали углерода, переход его всего или только отчасти из состояния аморфного в состояние определенного химического соединения с железом или обратно. Между всеми этими явлениями существует неразрывная связь.

Из описанных опытов видно, что:

1) Твердость стали стоит в некоторой определенной зависимости от напряженного, удаленного состояния частиц; для одной и той же стали — чем плотность ее больше, тем мягче сталь, и наоборот. Это вполне оправдывается повседневною практикой: отжигание с медленным охлаждением увеличивает плотность и мягкость стали и уменьшает внутренние напряжения; чем медленнее охлаждение, тем полнее действие отжигания.

2) При быстром охлаждении неотожженной стали, нагретой до температуры, не достигающей до точки *a* нашего масштаба, она делается плотнее и мягче, нежели была до этой операции.

3) При хорошей закалке линейное расширение средним числом можно принять около $^1/_3$ процента, а стало быть кубическое изменение достигает одного процента. Эти цифры можно считать более или менее справедливыми только при небольших размерах закаливаемого предмета.

4) При отпускании закаленной стали объем ее уменьшается сообразно температуре нагрева; при повторении отпускания до той же степени объем стали не изменяется. Хотя ввиду замеченного г. Абелем изменения количества входящего в соединение карбида углерода стали от большей продолжительности отпускания, при одной и той же температуре, вышеприведенные формулы нельзя считать безусловно верными с научной точки зрения, однако для практики это может служить весьма надежным руководством.

Для исследования скорости и вида движения охлаждения в большой раскаленной массе при обмывании ее поверхности холодною водою, т. е. для разъяснения обстоятельств, сопровождающих движение закалки снаряда при погружении в воду, я сделал следующий опыт:

Нагретый до красного каления квадратный брусок стали, в $2^1/_2$ дюйма толщиною, погружен был в холодную воду (см. фиг. 6), которая приводилась в быстрое движение, чтобы охлаждение не замедлялось. Глубина погружения конца в воду была около 1 *мм*. В таком положении брусок продержан 2 мин., затем вынут; хорошим напилком быстро снята окалина с боковой поверхности для того, чтобы тотчас же заметить, как располагаются цвета побежалости, или радуга. Оказалось, что в течение двух минут охлаждающего действия воды самый конец *b* с поверхности остыл до того, что до него свободно можно было дотронуться рукой; затем от этого конца температура шла, постепенно возвышаясь, до раскаленной части бруска *c*. Радуга цветов побежалости *a* занимала очень незначительную ширину, около $1^1/_2$—2 *мм*; расстояние ее от конца было 7—8 *мм*, и за нею почти непосредственно начиналась раскаленная часть бруска. Таким образом, было ясно видно, что при быстром охлаждении поверхности раскаленной стали нет большой постепенности в распределении температур, а что охладившийся слой увеличивается в толщину при относительно весьма резкой границе с раскаленною массою. По мере того как брусок оставался в воздухе, радуга побежалости постепенно расширялась по направлению к концу бруска, так что по прошествии $^3/_4$ мин. самый конец получил уже желтый цвет; конец бруска тотчас же был снова погружен в воду, как и в первый раз, и продержан там одну минуту. По вынутии из воды боковая поверхность опять быстро была счищена напилком, и оказалось, что хотя радуга сделалась несколько шире предыдущей в момент прекращения охлаждения, но синий цвет ее приходился опять почти на том же месте, что и в предыдущий раз. Прошла одна минута, пока теперь конец бруска получил опять желтую побежалость; затем я погрузил в воду весь брусок для полного охлаждения.

После излома бруска оказалось, что, начиная от поверхности, которую омывала вода, получилась хорошо закаленная корка около 4 миллиметров толщиною, а потом далее почти совсем незакаленная, мягкая сталь. Исследование помощью лупы показывает, что посредствующий пояс, связываю-

щий сильно закаленную корку с массою мягкой стали, имеет не более 2 *мм* ширины и представляет слабо закаленную сталь или, вернее, хорошо закаленную и затем сильно отпущенную сталь.

Чтобы нагляднее представить себе распределение температур при быстром охлаждении поверхности раскаленной массы стали, можно начертить, руководствуясь видом радуги в предыдущем опыте, следующую диаграмму. Пусть на фиг. 7 линия cd представляет границу поверхности раскаленной массы M, простирающейся неопределенно вправо от этой линии; пусть температура всей этой массы будет T и пусть поверхность cd подвергается быстрому охлаждению. Проведя линию oo' нормально к поверхности cd, отметим точки x, x', x'' и x''', соответствующие температурам t, t', t'' и t''', которые наступят в этих точках по прошествии некоторого времени после начала охлаждения поверхности cd. Пусть в точке x температура $t{=}200°$, в точке x' температура $t'{=}350°$; далее, пусть $t''{=}420°$; наконец, пусть в точке x''' температура $t'''{=}a$.

Так как теплопроводность стали с повышением температуры уменьшается, то принимая линию oo' за ось абсцисс и выражая температуру ординатами, мы должны получить кривую ob такого характера, как это видно на фиг. 7. Слой стали ox будет находиться в состоянии полной закалки; слой xx' представляет первую радугу побежалости, слой $x'x''$ вторую радугу и, наконец, вся толщина слоя xx''' представляет металл, находящийся в процессе закаливания, начало которого в точке x''', а конец — в точке x.

Слой xx''' во время охлаждения постоянно передвигается по направлению от точки o к точке o' и вместе с тем постоянно увеличивается в толщину, т. е. расстояние между точками x и x''' постоянно увеличивается. Но как, вместе с тем, быстрота движения точки x по мере удаления от точки o все более и более замедляется, то для какой-либо точки k линии oo' промежуток времени между прохождением чрез нее точки x''' и затем точки x будет тем продолжительнее, чем более точка k удалена от точки o, т. е. от охлаждаемой поверхности стали. С величиной этого промежутка времени, т. е. со скоростью понижения температуры от t''' до t, связана, как нам известно, степень получаемой закалки; следовательно, степень закалки необходимо должна уменьшаться по мере удаления от поверхности.

Легко видеть, что ширина слоя xx''' будет тем меньше, чем быстрее охлаждается поверхность и чем ниже температура последней; следовательно, и глубина закаленного слоя в каждом данном случае будет в непосредственной зависимости от этих же величин, несмотря ни на природу охлаждающей среды, ни на способ ее действия.

Таким образом, если б мы могли во всякий данный момент возможно быстрого охлаждения поверхности раскаленной массы стали, т. е. при возможно малой ширине пояса xx''', замедлить движение этого пояса настолько, чтобы для каждой следующей точки скорость охлаждения от t''' до t была медленнее предельной скорости закалки, то мы получили бы с поверхности хорошо закаленную корку ox, резко ограниченную от остальной массы незакаленной стали. Повторительное погружение конца

бруска в предыдущем опыте имело целью именно такое замедление движения пояса xx''', выполненное, однако, в весьма грубом виде; тем не менее там получился результат довольно удовлетворительный.

Основываясь на предыдущем, можно выбрать такую скорость охлаждения и такое повторение охлаждения чрез некоторые промежутки времени, чтобы получить не только одну простую корку твердой стали, но и двойную, если можно так выразиться. Положим, глубина закалки, или положение возможно узкой зоны температур радуги побежалости, будет на один сантиметр от поверхности; остановим охлаждение на столько времени, чтобы от действия внутренней раскаленной массы радуга побежалости передвинулась на 5 *мм* ближе к поверхности; тогда толщина неотпущенного слоя останется только 5 *мм*. Если затем несколькими отрывистыми охлаждениями задержать приближение радуги температур к поверхности или, например, погрузить предмет в такую жидкость, чтобы установилось такое подвижное равновесие передачи внутренней теплоты к охлаждающей жидкости, при котором температура наружного слоя в 5 *мм* толщиной оставалась бы в пределах температур 200—220°, то мы получим двойную кору: 5 *мм* твердой неотпущенной стали и 5 *мм* закаленной, но более или менее отпущенной стали, а далее незакаленный металл. Цифры эти, конечно, взяты произвольно, но опыт для каждого случая может указать, при каких условиях можно достигнуть желаемых результатов.

Польза подобной двойной коры может быть видна из следующего сделанного мною опыта с 11-дюймовым снарядом. После нагрева снаряд был погружен в холодную воду на 2 мин., затем вынут из воды на полминуты; вторично погружен в воду на $^3/_4$ мин. и опять вынут на полминуты; в третий раз погружен в воду на 1 мин. и опять вынут на 20 сек., в течение которых перенесен в горячую ванну при температуре 185°, где оставался в течение 20 мин.; температура ванны поднялась за это время до 230°, и снаряд во всей массе своей имел уже почти одинаковую температуру; зарытый потом в сухую теплую золу, он остывал в продолжение около 24 час. Снаряд этот, положенный боком на наковальню 5-тонного молота, выдержал 15 полных ударов решительно без всяких повреждений, даже без смятия в точках удара. Напомню, что снаряд Круппа разбился при втором ударе этого же 5-тонного молота.

Я нисколько не хочу этим сказать, чтобы стойкость снаряда при ударе в броню характеризовалась сопротивлением его боковым ударам молота, но во всяком случае, пока такой зависимости не определено, считаю полезным обратить ваше внимание на важное значение тех или других на первый взгляд мало уловимых приемов при закалке. Прибавлю, что приготовленные вслед затем два 11-дюймовых снаряда без особой корки, т. е. закаленные без повторительных погружений, разбивались от первого удара этого же молота. Вышеназванный снаряд был перенесен под 50-тонный молот, где разбит после четырех ударов, с высоты около 4—$4^1/_2$ футов. Снаряд разбился так, как показано на фиг. 8, при этом в местах прикосновения молота и наковальни отделились цельные корки *a* и *b* с весьма острыми краями: площадь корки *a* составляет около 10 кв. дюймов,

а корка *b* около 18 кв. дюймов. На фиг. 9 изображена корка *a* в плане и в поперечном разрезе, ясно обнаруживающая двойной характер, о котором только что мы говорили.

Нам остается рассмотреть только самый последний вопрос: что на самом деле нужно сделать с приготовленным к закалке снарядом, чтобы закалить, подобно снаряду Круппа.

С чисто технической стороны, мне кажется, можно было бы и не говорить об этом, потому что все условия закалки снаряда в отдельности теперь нами уже разобраны, и каждый из вас, мм. гг., мог бы сказать, каким образом это следует сделать.

Но если бы кто-нибудь спросил меня, в чем заключается мой способ приготовления снарядов, то я ответил бы, что он заключается в возможно полном исследовании, насколько мне было доступно, тех явлений, которые мы отметили при рассмотрении снаряда Круппа; в приведении по возможности в ясность тех обстоятельств и условий, при которых возможно достигнуть качеств, обнаруживаемых снарядом Круппа. Принимая все это во внимание, нетрудно указать несколько способов практического решения нашей задачи, смотря по окружающей обстановке, по местным условиям. Но чтобы не останавливаться на полдороге и довести до конца мое сообщение о *приготовлении снарядов*, я для примера опишу один из способов, по которому мы могли бы теперь же здесь приготовить стальной бронепробивающий снаряд. Вместе с тем я упомяну и о тех приемах, которые употреблялись мною при производстве первых опытов нагревания и закалки снарядов.

Для успеха закалки прежде всего необходимо, чтобы нагрев во всех местах снаряда был по возможности одинаков, чтобы не было искривлений или вообще неправильного распределения напряжений. Если мы примем во внимание очертание снаряда и распределение массы металла в различных местах его, то заметим, что для равномерности нагрева необходим весьма умеренный приток теплоты; иначе сравнительно тонкие стенки цилиндрической части и в особенности острие вершины нагреваются скорее и могут перегреться перед закалкой. Но при медленном нагреве происходит большое нарастание окалины, которая, как слой, дурно проводящий теплоту, мешает закалке.

Для достижения обеих целей — замедления притока теплоты и предохранения поверхности снаряда от окалины, достаточно поместить снаряд *p* (см. фиг. 10) в горшок *c*, приблизительно такой формы, как представлено на рисунке, а пространство между снарядом и стенками горшка заполнить древесным углем *k*. Для производства опытов при временных приспособлениях для нагрева достаточно устроить простой круглый горн, т. е. простую цилиндрическую печь *d* с очелками [4*] *b*, *b*; в средине сделать тумбу *m*, на которой можно было бы установить горшок со снарядом; в кольцевом пространстве между стенками печи и тумбой расположить колосники *n*, засыпать топливо и наблюдать за движением нагрева снаряда. В этом последнем случае хорошую услугу оказывает болт *a*, свободно вставляемый в снаряд; длина болта такова, что конец его вершины достигает внутренней пустоты.

По прошествии 3—4 час., если снаряд был холодный в начале топки, наступает темно-красное каление. Нагрев болта идет параллельно с нагревом снаряда, и по вынутому болту можно довольно точно судить не только о равномерности нагрева по длине снаряда, но если этот болт сделан из той же стали, как и самый снаряд, то пробами на закалку вынимаемого болта можно хорошо уловить тот момент, когда нагрев достиг температуры, необходимой для закалки, т. е. температуры *a* нашего масштаба. Если предварительными опытами определены размеры горшка, средняя величина кусков угля или кокса [3], — одним словом, если соображены все те побочные обстоятельства, которые влияют на большую или меньшую скорость нагрева той или другой части снаряда, то можно легко определить из двух-трех опытов, какой слой мелкого угля набойки нужен для того, чтобы, несмотря на высшую температуру горения топлива внизу печи, получить одновременно ровный нагрев во всех местах снаряда. По вынутии снаряда из горшка следует тотчас же подвергнуть его охлаждению.

Скорость передачи теплоты от одного предмета к другому находится в прямой зависимости от разности температур соприкасающихся тел; следовательно, если снаряд, имеющий температуру T, погружен в ванну (см. фиг. 11), имеющую температуру t, то в первый момент после погружения разность этих температур будет наибольшая, поэтому ванна примет в начале охлаждения снаряда наибольшее количество теплоты в данную единицу времени и нагревание ее в первые моменты будет сравнительно быстрее, нежели впоследствии. Для нашей цели желательно иметь возможно быстрое охлаждение поверхности именно в начале этой операции, поэтому остановимся несколько на выборе охлаждающей жидкости.

Если в нашем распоряжении некоторая постоянная ванна, с определенным количеством жидкости, то сравнительное охлаждающее действие ванны будет зависеть, в числе других причин, от количества жидкости, ее теплоемкости и теплопроводности. Г. Яролимек, соображая свойства различных жидкостей в отношении их охлаждающей способности, выразил в цифрах сравнительную закаливающую силу воды и металлических ванн. Оказывается, что наиболее энергичным отнятием теплоты отличается ванна расплавленного олова, которое в этом отношении превосходит даже холодную воду, взятую при 0°. Однако, если принять во внимание, что при употреблении металлических ванн весьма неудобно с практической стороны возобновлять приток свежего металла к охлаждаемой поверхности, здесь нельзя производить такую сильную циркуляцию и в таком произвольном количестве, как это легко сделать при употреблении воды; отсюда очевидно, что вода имеет громадные преимущества перед всеми другими жидкостями для произведения быстрого охлаждения, т. е. для получения самой твердой закалки. Я не говорю о ртути как вовсе неудобной для практики жидкости, хотя очень распространено мнение, что в ней можно получить самую твердую закалку, какой не достигается в воде.

---

[3] При употреблении кокса горшок должен быть глиняный, а при древесном угле можно взять и железный.

Металлическая ванна может принести большую пользу в том случае, когда нужна неглубокая закалка, как это необходимо для снарядов. В самом деле, при закалке снаряда необходимо отнять в первые моменты охлаждения возможно большее количество теплоты от наружного слоя известной толщины; затем уже передача теплоты от внутренней массы снаряда к ванне, чрез посредство охлажденного слоя, постепенно замедляется; так что, несмотря на разогревание ванны от принятия большого количества теплоты в начале погружения снаряда, а следовательно, на уменьшение разности температур ванны и поверхности снаряда, может наступить некоторого вида подвижное равновесие, при котором наружный закаленный слой снаряда будет находиться при температуре, немного высшей против температуры ванны, а внутренняя масса снаряда будет остывать настолько медленно, что закалка в ней не произойдет; дальнейшее же возвышение температуры ванны на счет получаемой теперь от снаряда теплоты может быть предупреждено охлаждающим действием наружного воздуха на стенки сосуда. Таких результатов можно достигнуть даже с сравнительно небольшим количеством жидкого металла, если стенки ванны при хорошей теплопроводности будут настолько массивны, что в состоянии разделить с жидким металлом всю теплоту, отнимаемую от снаряда, не допуская ванне возвысить температуру свыше 230—240° к концу охлаждения. В этом последнем случае закаленная сперва корка снаряда получит в конце операции некоторое незначительное отпускание до желтого цвета; затем должно следовать возможно медленное охлаждение.

Такой способ закалки снарядов представлял бы большие удобства: определив раз навсегда отношение массы снаряда к массе самой ванны, а этой последней к массе металлического сосуда, первоначальную температуру снаряда T, начальную температуру ванны t и окончательную температуру $t+\tau$ снаряда и ванны чрез известный промежуток времени, можно установить автоматический ход производства с полною гарантией однообразия качеств снаряда.

Однако этого всего можно достигнуть при условии способности ванны быстро отнять в первые моменты после погружения снаряда большое количество теплоты и понизить температуру закаливаемого слоя ниже 200°; для этого необходимо, чтобы температура самой ванны была значительно ниже 200°, а также и масса ванны была бы достаточно велика, чтобы не нагрелась настолько, что перестала бы закаливать в первые же секунды после погружения снаряда. Принимая во внимание, что металлическая ванна больших размеров с низкой температурой плавления была бы очень дорога, а в том случае, когда главный резервуар поглощения теплоты снаряда представляли бы массивные стенки сосуда ванны, нельзя рассчитывать на быструю передачу теплоты от ванны к стенкам, я прибегнул к комбинации двух ванн: холодной и горячей.

Первая ванна — холодная вода; вторая — сплав олова со свинцом, с точкой плавления 184°. Вес расплавленного металла составлял 80 пудов, сосуд чугунный, толщина стенок 5 дюймов, вес сосуда 120 пудов (фиг. 11). Снаряд после нагрева погружается сначала в холодную воду,

приблизительно на $1^1/_2$—2 мин. При этом часть, непосредственно прилегающая ко дну снаряда, на длину 4—5 дюймов погружается в воду только по временам на несколько секунд, чтобы в этой части не получить закалки, несмотря на ускоренное охлаждение. При движении таким образом снаряда вверх и вниз на величину хода 4—5—6 дюймов самая вершина снаряда для предупреждения слишком сильной и грубой ее закалки и для устранения возможности образования в ней трещин входит при опускании снаряда в слой насыпанного на дно сосуда каменного угля, величина кусков которого приблизительно равна грецкому ореху. Этот последний прием имеет целью задержать циркуляцию воды около вершины во время погружения ее в уголь на несколько секунд, тогда как в это время дно снаряда погружается в воду на такое же непродолжительное время. Средство это так действительно, что каждое погружение вершины в уголь, приблизительно на 4—5 дюймов, не должно превышать 1—2 сек., с промежутками в 10—15 сек., иначе вершина очень слабо закалится.

После первого $1^1/_2$—2-минутного погружения снаряд быстро вынимается из воды на $^3/_4$—$^1/_2$ мин., потом погружение повторяется на $^1/_2$—1 мин. и т. д., смотря по тому, какую корку и какой глубины закалку желаем дать снаряду. Для получения закалки со стороны внутренней пустоты снаряда, при погружении его в ванну, в него вставляется наконечник от водопровода и пускается сильная струя воды. Действие этой струей, перемежаемость ее и т. д. зависят от того, какую закалку желаем сделать внутри снаряда.

Потом снаряд непосредственно погружается в горячую ванну при температуре 185—190°, где остается в продолжение 8—10 мин.; ванна в это время нагревается до 220—240°.

Наконец, снаряд зарывается в теплую сухую золу, где остывает очень медленно.

Соединение закалки с отпусканием в одно и то же время представляет весьма важный шаг при решении нашей задачи. Таким путем не только вернее достигается образование сравнительно тонкой закаленной корки на снаряде, но и предупреждается возможность трещин и ограничивается до крайних минимальных пределов развитие внутренних частичных напряжений в массе снаряда. Увеличенный сначала объем закаленных слоев уменьшается при следующем затем непосредственном повышении температуры этих слоев в горячей ванне до 230—250° почти на половину всего первоначального увеличения, как это мы видим из табл. 2 (образец № 8); это обстоятельство способствует стягиванию внутренней остывающей незакаленной массы снаряда, стремящейся принять первоначальный объем, какой она имела до закалки. Так как в это время при температуре свыше 220° закаленная сталь обладает некоторой пластичностью, что доказывается возможностью выправлять под молотом поведенные при закалке предметы, если их нагреть до желтой побежалости (хотя здесь требуется большая осторожность), то несомненно, что продолжительное пребывание снаряда при температуре 230—240° и самое медленное охлаждение в течение суток ведет к возможно полному уничтожению или к крайнему уменьшению внутренних частичных напряжений в снаряде. Это

вполне подтверждается на деле: закаленный при таких обстоятельствах снаряд почти вовсе не изменяет своего диаметра от закалки.

Описав в общих чертах один из способов закалки снаряда, повторяю, что таких же результатов можно достигнуть и несколько видоизмененными по внешности путями. Например, если мы можем иметь в нашем распоряжении сильную струю воды, то нет необходимости иметь водяную ванну; остается только подвергнуть снаряд действию струи воды в тех местах поверхности, где требуется закалка, как это приблизительно показано на фиг. 13. Чем ближе к изолирующему пояску, тем струи должны быть сильнее и теснее; головную часть и вершину снаряда можно оставить без обрызгивания струями, лишь бы только вода собиралась в сосуде и омывала эти части; такого охлаждения совершенно достаточно, чтобы получить закалку, необходимую для головной части снаряда. Внутренняя закалка, как видно на рисунке, может быть регулирована впусканием свежей струи воды при отпертом кране *a* и запертом *b* или опоражниванием внутренней пустоты помощью сифона при открытом кране *b* и запертом *a*. Регулирование и прерывание охлаждения снаружи снаряда достигается краном *c* и клапаном или краном *d*. Наконец, вторая ванна, горячая, может быть приготовлена из сала, масла, парафина, нефтяных остатков и т. п.

Я полагаю, что, имея в руках все способы действовать охлаждающими струями по произволу на какие угодно точки наружной и внутренней поверхности снаряда и зная условия, при которых можно получить желаемую глубину закалки и притом желаемых качеств, в виде ли простой или двойной корки, усиливая закалку в одной части и ослабляя в другой, подвергая закаленные части большему или меньшему отпусканию и ослабляя до крайней степени внутренние частичные напряжения в снаряде, легко выработать все наивыгоднейшие элементы закалки для каждого калибра и вообще поставить дело снарядов на твердую почву, подготовленную научным путем, и, как вы видите, мм. гг., нетрудно придумать несколько видоизменений способа приготовления снарядов; необходимо, однако, чтобы этой работе помогали опыты стрельбою в броню и принятое направление проверялось опытным путем.

Мм. гг., моя задача окончена. В возможно для меня полном исследовании обстоятельств, сопровождающих закалку снарядов, и тех путей, какими можно прийти к желаемой цели, — вот в чем состоит мой способ изготовления стальных бронепробивающих снарядов.

5

О ВЛИЯНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ[1*]

(Лекция Д. К. Чернова, читанная им в Институте инженеров путей сообщения 28 января 1886 г.)

ПРОГРАММА ЛЕКЦИИ

Цели обработки железа и стали:

I. Изменение размеров и формы с попутным изменением свойств металла.
II. Изменение свойств металла с сопровождающими изменениями формы.

I. Изменение формы:

а) С расплавлением, отливкою	Расплавление и отливка в формы, причем изменение свойств достигается разнообразием охлаждения и прессованием жидкого металла.
б) Без расплавления, но при высокой температуре, с участием механических сил.	Нагревание. Ковка. Прокатка. Прессование.
в) Механическими силами без участия теплоты.	Протяжка в проволоку и наклепка.

II. Изменение свойств:

1) Нагревание с быстрым охлаждением (закалка).
2) Нагревание с медленным охлаждением (отпуск и отжигание).

Структура, плотность (уд. вес), магнитные свойства, электропроводность (а равно и теплопроводность); твердость, вязкость, хрупкость, эластичность, пластичность.

Мм. гг. Предмет сегодняшней лекции заключается в рассмотрении изменений, какие претерпевает железо в своих свойствах вследствие механической обработки. Механическую обработку мы будем рассматривать только такую, которая вызывает в данном куске металла перемещение частиц, а не ту механическую обработку, которая имеет предметом отделку поверхности, не изменяя взаимного расположения частиц в данном куске металла.

Механическая обработка, связанная с частичным перемещением, преследует двоякие цели: 1) или изменение формы куска, 2) или изменение только свойств металла в данном куске.

Обработка металла, соединенная с перемещением частиц опять-таки совершается при помощи троякого рода приемов или операций: механическою силою при помощи теплоты, механическою силою без помощи теплоты или только теплотою без помощи механической силы.

Вот эти три способа обработки мы рассмотрим в кратких чертах и посмотрим, какое влияние оказывает каждый раз каждая из таких обработок на качества обрабатываемого материала.

Считаю нужным оговориться, что в извещении о моей лекции было сказано «О влиянии механической обработки на свойства металла», но

я ограничусь рассмотрением изготовления или обработки лишь железа в широком значении этого слова — железа сварочного или литого — и такой же стали, тем более, что другие металлы подвергаются чрезвычайно редко подобной обработке и в большинстве случаев представляют собой весьма удобный материал для изменения формы при помощи расплавления в какие бы то ни было сложные формы и при этом очень редко подвергаются тем обработкам, влияние которых мы будем сегодня рассматривать. Вот отчего я ограничусь обработкою железа в широком значении этого слова.

Обработка литого железа или стали механическими средствами обусловливается тем, что этот металл получается из руд или главным образом из чугуна не в таком виде, который удобно прямо придавать ему, выливая в те формы, в каких он должен служить к удовлетворению потребности, но обыкновенно он получается в виде грубого куска или болванки, которые потом уже при помощи других средств, именно механических, обрабатываются в требуемую форму.

Особенно в настоящее время, когда металлургия владеет всеми средствами для выплавления долго считавшегося неплавким железа, можно было бы непосредственно получать железо и сталь в тех формах, какие нужны нам для удовлетворения известных потребностей.

К сожалению, здесь мы встречаем чрезвычайно большие затруднения к получению плотного куска металла, не проникнутого пустотами.

Вследствие значительного изменения объема при затвердевании жидкого металла — железа и стали, слитки являются всегда переполненными большим или меньшим количеством пустот, которые, с одной стороны, происходят от выделения газов, растворенных в расплавленном железе или стали и образующихся вследствие химической реакции между расплавленным металлом и соприкасающимся с металлом воздухом с содержащейся в последнем влагой; с другой же стороны, оттого что при уменьшении объема жидкого металла при переходе его в твердое состояние образуются внутри пустоты, так называемые усадочные раковины.

Вот для того чтобы отливаемый предмет имел во всей массе достаточную плотность, необходимо полученный отливкою кусок металла обработать так, чтобы внутренние пустоты, неизбежно сопровождающие отливку стального или железного слитка, были уничтожены сдавливанием или свариванием или, наконец, так расположены, чтобы, опять-таки при помощи механической обработки, они перестали бы оказывать вредное влияние на прочность предмета.

Я хотел бы в общих чертах показать, как совершается затвердевание жидкой стали или железа при отливке его в формах. Напомню только, что вылитый в форму расплавленный металл отвердевает вследствие потери теплоты, поддерживавшей его в расплавленном состоянии. Потеря эта, первым делом, обусловливается передачею теплоты стенкам того сосуда, в который выливается расплавленный металл, стало быть и затвердевание металла всегда будет идти от стенок к внутренним его частям. Металл нарастает, затвердевая непосредственно около стенок. Как же он затвердевает? Какими слоями нарастает этот металл, идя от стенок?

Для этого достаточно взглянуть на слиток, полученный вслед за отливкой жидкой стали или жидкого железа в холодную форму. Надо опрокинуть эту форму, удалить прикасающийся слой жидкого металла, еще не застывшего, тогда и видно будет, каким образом стенки нарастают и каким путем шло затвердевание. Наблюдения показывают, что затвердевание происходит отбрасыванием остроконечных кристаллов, идущих от места прикосновения жидкого металла к стенкам изложницы внутрь, нормально к поверхности формы.

Вот снятый аппаратом кристалл, росший в жидком металле и пойманный для снимка [2*] во время нарастания удалением окружавшей его жидкой стали ‹см. фиг. 7 и 8, табл. VI›. При этом корень затвердевания, если можно так выразиться, идет по продольной оси с отбрасыванием отростков во все стороны. Кристаллы этих отростков, которые можно назвать отростками первого порядка, отбрасывают в свою очередь отростки второго порядка. Если мы представим себе рядом расположенные, вследствие охлаждения, центры кристаллизации, то увидим, что и здесь от них быстро начнут свой рост оси кристаллов, спутываясь бросаемыми боковыми ветвями с ветвями соседних разветвлений. Часто кристаллы, срастаясь со своими соседями, образуют некоторые замкнутые пустоты, которые, вследствие отростков второго порядка, наконец, становятся совершенно замкнутыми и, в свою очередь, представляют некоторую маленькую форму, в которой находится известное количество жидкого металла. Что происходит далее, можно видеть из следующего.

Вот группа кристаллов, взятых в тот момент, когда уже началось перепутывание ‹см. фиг. 10 и 15›. Вот здесь ось первого порядка. Здесь мы видим изображение под микроскопом главной оси одного из кристаллов; отброшенные от него отростки вправо дали в свою очередь отростки второго порядка. Здесь уже виден момент, когда они сходятся между собой, когда отброшенные от других кристаллов ростки, огибая раньше их выросшие на пути кристаллы, залегают в тех местах, где встречаются с менее развитыми ростками. А здесь видно некоторого рода загибание вершины ростков, что может быть объяснено движением каких-нибудь кристаллов. Здесь, видимо, образовалось замкнутое пространство, наполненное жидким металлом, который должен пополнять собою рост начавших уже образовываться кристаллов. Уменьшая свой объем при затвердевании и служа материалом для дальнейшего роста этих кристаллов, жидкий металл неминуемо должен образовать так назыв‹аемые› усадки, т. е. весьма малые, едва заметные под микроскопом с большим увеличением, пустоты ⟨см. табл. VII, стр. 214—215⟩.

Если, мм. гг., мы примем во внимание это обстоятельство, то увидим, что полученные отливкою металлы всегда представляются более или менее рыхлыми. Это свойство относится одинаково почти ко всем металлам, отливаемым в форму, подобно стали.

Хотя при некоторых металлах и замечается увеличение объема во время затвердевания, но те металлы, которые служат в большинстве для удовлетворения наших нужд, отличаются указанным качеством весьма редко, следовательно, мы должны всегда рассматривать кусок металла, полу-

ченный отливкой, как переполненный мелкими, микроскопическими пустотами. Вот, мм. гг., причина, почему полученный отливкою стальной или железный слиток, чтобы иметь его возможно высшего качества, непременно должен быть подвергнут механической обработке прессованием или сдавливанием, что достигается при помощи паровых и других молотов, прокаткой в валках и т. д.

В настоящее время для удовлетворения многих потребностей нужны больших размеров болванки стали и железа. Для того чтобы построить какой-нибудь пароход или броненосец, изготовить стальное орудие большого калибра, сделать броню — все это требует больших масс металла.

Если мы представим себе литой кусок металла весом в 2, 3 или 4 пуда, то легко поймем, что для сдавливания заключающихся в нем пустот, принимая во внимание высокое сопротивление сжатию железа и стали, понадобятся большие механические усилия. Для обработки же больших масс железа и стали тем более нужно будет употребить чрезвычайно сильные механические средства, и то без пособия теплоты с ними ничего нельзя сделать: необходимо при помощи нагревания размягчить эту массу для того, чтобы быть в состоянии сколько-нибудь ее уплотнить.

Помимо того, что я сейчас сказал о росте кристаллов и об образовании мелких, проникающих их пустот, я считаю еще нужным упомянуть, что железо и сталь никогда в промышленности не получаются в совершенно чистом виде, и мы всегда встречаем в слитках более или менее значительное число примесей других (кроме железа и углерода) веществ: кремния, фосфора, марганца, серы. Я всех их перечислять не буду вследствие большого количества посторонних элементов, заключающихся в рудах. При точных анализах, иногда делаемых над чугуном, оказалось, что в нем находят до 15 и более элементов, но чаще всего и в наибольшем количестве мы имеем дело, помимо углерода, с примесями марганца, кремния, фосфора и серы. Это почти постоянные спутники нашего чугуна, а стало быть в большем или меньшем количестве и спутники железа и стали.

При отливке стали, во время роста кристаллов, т. е. во время затвердевания, происходят различные химические реакции и часто выделение некоторых из веществ, бывших в растворе во время расплавленного состояния металлов, выделяющихся и обособляющихся на поверхности вырастающих кристаллов. Если обозреть в микроскоп стенки пустот, которые проникают литую сталь, то можно найти при внимательном рассмотрении очень много своеобразных форм и различных цветов выделения, которые сидят на стенках кристаллов в различных видах.

Я не буду останавливаться на подробном рассмотрении этих выделений, для примера укажу на снятые мной кристаллические группы такого характера, как показано на рисунке[2а]*. Это шестиугольные пластинки, в некоторых местах весьма ясно обозначающиеся, а в других местах являющиеся в виде обломков, один на другой налегающих, слипающихся вместе и образующих массу, едва напоминающую по очертаниям обломков такой же шестиугольник. Это вещество совершенно прозрачно, пластинки эти столь тонки, что я затруднялся их измерить. Поперечник этих пластинок колеблется от 0,001—0,01 *мм*. Что это за вещество, я не могу сказать

определенно, потому и не указываю на него, но много таких выделений мы встречаем на стенках в пустотах болванки литой стали.

Всем известно, мм. гг., что чугун при отливке дает значительные выделения углерода, которого в чугуне много.

При остывании этот углерод не остается в соединении с железом и, менее сильно удерживаясь при медленном остывании, чем при быстром охлаждении, выделяется в пластинках графита большего или меньшего размера.

Переход углерода в графит из соединения с железом ясно обозначается в изломе металла в виде мелко или крупно обозначенных прослоек между кристаллами, чего не наблюдается в отбеленном чугуне, полученном при быстром охлаждении: излом первого металла серый, а второго— белый, блестящий.

Переходя опять к вопросу об обработке, я укажу только на общий вид представителей тех механических приборов, при помощи которых обрабатываются в настоящее время литое железо и стальные массы.

Еще в жидком виде, пока металл застывает, многие старались применить силу механического давления, чтобы все пустоты сейчас же сдавливать, не давать образовываться там в затвердевающем слитке пустотам, следить за уменьшением объема жидкого металла при его переходе в твердый, подвергать металл после его выливания в форму весьма сильному давлению с тем, чтобы постоянно заставлять металл заполнять образующиеся пустоты. Для этого было придумано применять сильный гидравлический пресс, давление поршня которого производит действие на застывающий металл в форме или изложнице, для чего последняя, скрепленная двумя кольцами, на тележке подвозится после отливки в нее металла под поршень гидравлического пресса, который проходит через отверстие в крышке изложницы и непосредственно давит на жидкий металл с его поверхности и таким образом следует за уменьшением объема затвердевающего металла. Это одна из наиболее известных систем в Германии, и, кроме того, имеется видоизмененная Витвортом [3*].

Витворт применил давление на поверхность жидкой стали в изложнице глухим поршнем, на который действуют гидравлическим прессом; такую операцию называют прессованием стали в жидком виде. Приспособление представляет, в общем, большой вертикальный гидравлический пресс. Внизу чугунный фундамент, основная рама, посредине в него вставлен гидравлический цилиндр с воротником и с большим поршнем в виде ныряла; на голове этого поршня имеется перевозная площадка. Сверху расположен большой траверс, а под ним подвижной чугунный массив; траверс связывается с основанием четырьмя стальными колоннами, которые в верхней части представляют из себя винты, на которых чугунный массив может перемещаться помощью гидравлических цилиндров и тяг вверх и вниз, закрепляясь в данном положении гайками. На площадку подвозится изложница, в которую только что налита сталь. Над изложницей к нижней стороне чугунного массива прикрепляется глухой поршень, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру изложницы. Когда под нижний поршень пускается вода, то он поднимается вместе

с изложницей, причем верхний поршень плотно входит в изложницу; тогда все абсолютное давление пресса обрушится на заключенную в изложницу жидкую сталь. Полная сила пресса может быть доведена до 10 000 *т*: такой пресс Витворта был установлен на Обуховском заводе.

Несмотря на громадное давление пресса по отношению к болванкам, эти последние при меньшем количестве пустот внутри в центральных частях оказываются рыхлыми именно потому, что при больших размерах наросшие стенки представляют весьма большое сопротивление дальнейшему надавливанию поршня, так что, как бы то ни было, нужно прибегать к другим средствам, именно к обработке помощью молотов уже после отливки.

Представители паровых молотов достигают в настоящее время весьма почтенных размеров, а именно до 80 и до 100 *т* и притом 80-тонный молот двойного действия. Здесь вы видите общий вид 80-тонного молота простого действия [4*], установленного на заводе Крезо. По бокам молота расположены 160-тонные краны для того, чтобы маневрировать с болванками, вес которых доходит до 6 и 7 тыс. пудов. Маневрируют болванками таким образом: подносят их к молоту, подвергают на наковальне ударам бабы, поворачивают по мере надобности и по остывании снова относят в печи, расположенные у молота. Печи устраиваются газовые, с колодцами для помещения генераторов. Чтобы видеть, какие средства употребляются для маневрирования с болванками, я снял особый рисунок, чтобы показать, как самая болванка подхватывается на цепи краном и как она поворачивается. При таком громадном весе болванки ее нужно поворачивать механической силой: здесь видно, как ее поднимают, пользуясь силой паровой машины крана. Поршень оканчивается винтом и поворачивается небольшими зубчиками зацепляющегося колеса, вместе с которым на одной оси закреплен и шкив. Поворачивая этот шкив, перемещают цепь, а с нею вместе поворачивается и болванка.

Кроме паровых молотов, употребляется еще прокатная машина. Когда нужны однообразный размер и большая длина, тогда сжимают кусок металла между двумя соответствующими валками, издавливая и вращая их, вытягивая прокатываемый металл до требуемых размеров.

Куски стали, представленные здесь на рисунке [5*], малого размера, но таким же способом обрабатывают и очень большие массы. Так, для прокатки брони куски литой стали достигают 2—3 тыс. пудов. Кроме того, для замены ударов, сопровождающих обработку под паровым молотом, применяют в настоящее время жомы, где усилие, требуемое для обжимки металла, прикладывается статически, а не ударом к нагретому куску стали. Давление в первом прессе-жоме Витворта достигало 2000 тонн, что соответствует средней величине развивающегося сопротивления в стальной болванке, проковываемой под 50-тонным молотом Обуховского завода. На некоторых заводах применено непосредственное давление при помощи большой гидравлической силы вместо ударов бабы. Представителем подобного аппарата может служить пресс, который был введен в Германии и в общих чертах представляет из себя обыкновенный гидра-

влический пресс, при котором работают два различных аккумулятора. Для подъема головы пресса служит всегда небольшое давление, а тогда, когда под прессом обрабатывается кусок металла, сжимаемый между нижней наковальней и головой пресса, такое движение производится аккумулятором наибольшего давления.

Из этого видно, все что манипуляции, совершаемые для обработки нагретого металла под молотом, могут удобно совершаться и при помощи гидравлического пресса с той разницей, что в последнем случае нет того шума и сотрясения, какое вызывает устройство мощного основания под наковальней парового молота большой силы.

Для того чтобы определить влияние нашей обработки на качество металла, нам в высшей степени важно знать, что делается при каждой операции, предпринимаемой в целях обработки. Первая операция при обработке под молотом, в прокатных валках, при обжимке жомом или прессом есть нагревание стального слитка. Мы должны коснуться того влияния, которое обнаруживает теплота. Все отдельные, как бы разделяющиеся между собой, группы кристаллов, позволяющие нам сравнительно легко разламывать слиток литой стали, при температуре нагрева до красного каления или 750° от теплоты нагрева слипаются между собой, и вся масса металла из кристаллической переходит в аморфную воскообразную массу. Если мы возьмем кусок воска, совершенно плотного в его массе, и размягчим его настолько, чтобы он получил пластичность, то как бы его ни били молотком, как бы мы его ни мяли, если воск был взят в совершенно плотной массе, его пластичность не изменится, мы ничем не можем изменить самой природы вещества, которая остается неизменной со всеми присущими ей качествами. В смысле плотности мы не достигнем ничего, и это нисколько не удивительно: если масса несжимаема, то, как бы мы ее ни били, ни давили, она и после этого останется такой же, как была. Масса стали, нагретая до красного каления и получившая такую же сравнительно плотность, как взятый нами кусок воска, будет в состоянии несжимаемости: можно сжать, сблизить только те пустоты, которые в ней имеются, но если бы в слитке не было никаких пустот, то задача обработки ударом молотов, давлением прокатных валков, только и заключалась бы в том, чтобы изменить форму литых кусков стали, как в приведенном нами примере изменяется форма воска. Стало быть задача обработки литой стали под паровым молотом в отношении свойств металла заключается только в том, чтобы при помощи сильных ударов или сильного сжатия сблизить те части, которые расщепляются этими мелкими микроскопическими пустотами. Мы знаем, с другой стороны, что железо и сталь обладают весьма благодарным свойством слипаться, если никакое постороннее тело не мешает; это происходит при температуре красного каления и известно под названием сварки. Сварка — это не что иное, как только очень тесное соприкосновение неокисленных частиц стали или железа при температурах красного каления. Приняв это во внимание, мы видим, что задача обработки под молотом состоит в том только, чтобы слиток при помощи давления привести в наиболее благоприятное состояние в смысле сближения стенок пустот, имеющихся в слитке, но не для

уплотнения всей массы металла, а также для того чтобы придать ему форму, которая нам нужна.

Мы привыкли с понятием о ковке стали соединять всегда понятие об ее уплотнении, не только в смысле освобождения от пустот, но и в смысле уплотнения массы металла самой по себе, но на самом деле выходит, что ковка только изменяет форму данного куска и, смотря по отношению силы ударов молота к толщине обрабатываемого куска, в большей или меньшей степени мешает кристаллизации массы стали, но не может ее самое по себе уплотнить; сила ударов молота слишком мала, чтобы победить ту громадную силу теплоты, которая отделяет частицы одну от другой на известные расстояния. Если данный кусок стали нагреем, прокуем под молотом, прокатаем в валках, как бы сильно при этих операциях ни сдавливали сталь, мы заметим, что удельный вес стали в большинстве случаев уменьшился. Стало быть, если мы молотом и прокаткой не можем увеличить плотности металла, значит эта обработка в этом отношении теряет свое значение. Тогда надо обратить внимание на другую деталь, составляющую эту механическую обработку, — именно на теплоту, и посмотреть, что делает теплота сама по себе помимо участия молота.

Массу стали очень удобно рассматривать как весьма концентрированный раствор какой-нибудь соли в ее кристаллизационной воде. Это сравнение было с самого начала принято, удержалось впоследствии и до сих пор признается, сколько известно, одним из наиболее подходящих. Пусть это будут квасцы, способные при повышении температуры растворяться в своей кристаллизационной воде.

Наступит момент, что этой кристаллизационной водой начинает смачиваться кусок квасцов, положенный в стеклянную колбу при осторожном ее нагревании, и тогда отдельные кристаллы, составляющие данный кусок, будут как бы слипаться между собой, образуя одну расплывающуюся массу, т. е. этот момент вполне соответствует слипанию отдельных индивидуумов кристаллов в слитке стали. Если мы начнем охлаждать жидкость, представляющую раствор квасцов в своей кристаллизационной воде, то, смотря по условиям охлаждения, мы можем получить в начинающей кристаллизоваться соли от самых крупных до самых мельчайших, едва заметных для глаза, кристаллов.

Когда мы нагреем до красного каления металл, мы в момент слипания отдельных кристаллов получаем воскообразную структуру — это состояние можно назвать аморфным. Если нагреть металл до очень высокой температуры и дать ему спокойно охладиться, то будет нечто подобное, как в примере с квасцами, если довести нагревание до совершенного расплавления массы в своей кристаллизационной воде, когда образование в этой воде при охлаждении большего или меньшего числа кристаллов будет зависеть от того, насколько спокойно или с сотрясением продолжается этот переход от расплавленного состояния в твердое. Точно так же и со сталью, нагретой до высокой температуры: если она не будет подвергаться механическим усилиям и сотрясениям, не будет как бы взбалтывания, то и в стали образуются крупные кристаллы, которые не только видны под микроскопом, но их можно осязать руками.

До того велико обособление кристаллов при спокойном застывании, что по охлаждении на изломе куска стали ясно обнаруживается рассыпчатое зернистое сложение. Излом бруска совершается чрезвычайно легко, и при этом зерна так слабо сцеплены, что их можно отделить при помощи ногтя, можно разобрать отдельные зерна. В этом отношении мы не узнаем нашего металла, так высоко ценимого за его твердость и сопротивление. Я вам покажу кусок стали, который, сначала плотный, потом нагретый до высокой температуры, был чрезвычайно медленно охлажден. Мы дали возможность кристаллизоваться слипшейся массе металла, пришедшей вследствие нагревания до высокой температуры в аморфное состояние и потом от высокой температуры перешедшей к охлаждению. Кристаллизация здесь выразилась очень ясно — кусок рассыпается на зерна под влиянием выцарапывания ногтем ‹см. фиг. 22 на стр. 224›. Итак, влияние теплоты таково, что при помощи ее мы можем привести сталь в аморфное состояние и сделать ее подобно воску без кристаллов, и в этом состоянии она окажет нам очень большую услугу в применении ее к нашим потребностям, и точно так же при помощи теплоты же мы можем совершенно уничтожить в стали всякое подобие того металла, который нам оказывает такую большую услугу в первом случае.

Теперь, мм. гг., мы рассмотрим еще другой вид механической обработки без пособия теплоты. При участии теплоты мы видели, что ни удары молота, ни давление валков при прокатке, ни давление жома не имеют главного влияния на свойство металла, а что это влияние надо приписать теплоте; теперь посмотрим, как влияет механическая обработка без пособия теплоты, тогда будет видно, что можно приписать чисто механической обработке в отдельности. Для того чтобы немножко расчленить явление, припомним, что механическая обработка без участия теплоты наиболее нам известная — это протяжка проволоки. Так как механическая обработка без участия теплоты всегда затруднительна вследствие того, что неразогретый, неразмягченный металл представляет большое сопротивление, то она и употребляется только в том случае, когда применение теплоты было бы неудобно. В других целях, как, например, при вытяжке очень длинной тонкой проволоки при помощи особых машин, прокатывают проволоку в горячем состоянии до 4 *мм* в диаметре, но для этого требуется такая комбинация вращающихся валков, чтобы тоненькие полоски не успевали скоро остывать; что же касается более толстых сортов, нужно ограничиться одними механическими усилиями. Вам известно, как приготовляется проволока.

Самый способ обработки показывает, что предел упругости, вследствие вытягивания за первоначальный предел упругости, возвышается. Это не требует особых доказательств, всем известно, что проволока, полученная из самого мягкого железа через проволакивание сквозь отверстие волока, получает качества, весьма близкие к закаленной стали.

Если мы рассмотрим излом протянутой сквозь волок в холодном состоянии проволоки, то увидим, что этот излом вовсе не похож на излом кованого металла, что здесь мы замечаем большую или меньшую группировку вытянутых кристаллов или зерен. Здесь структура металла, какая

была до проволакивания, после операции протяжки изменилась, не переходя через аморфное состояние, изменилась только вследствие того, что установившаяся группировка приняла более или менее вытянутое положение. Я отмечу только факт, что вследствие этого вытягивания по одному направлению сопротивление разрыву или временное сопротивление железа или стали возрастает, предел прочного сопротивления возрастает, удлинение при разрыве уменьшается, одним словом, металл делается тверже; проволока с одной стороны волока была мягка, легко могла завязываться в узел, по другую же сторону волока она теряет мягкие свойства, получает некоторую хрупкость. Вот какого рода изменения производит вытягивание металла без участия теплоты — это при растяжении в одну сторону, по одному направлению; если же мы возьмем кусок стали или литого железа и будем не вытягивать его в длину, а ударять молотом со всех сторон, то увидим, что металл и от этого делается тверже. Если это был брусок, раньше сгибавшийся очень хорошо, то теперь после этих ударов, которые в сущности чрезвычайно мало изменили размеры этого бруска, он получает очень большую твердость. Если бы мы вырезали из него брусочек для испытания на прессе, то увидели бы, что после этого наколачивания молотом что-то изменилось в металле, что он получил большую твердость, предел прочного сопротивления возрос, временное сопротивление также увеличилось, а удлинение уменьшилось. Происходит ли это действительно от сплачивания частиц, или от их разрыхления — это покажет определение удельного веса.

Все показывает, как это мы упоминали раньше, что всякая механическая обработка, с какой бы силой ни была приложена, всегда даст меньший удельный вес, нежели спокойное остывание и затвердевание металла после его выплавления. Казалось бы странным, что механическое усилие при прокатке (протяжке) разъединяет частицы, и еще более странно, что то же самое явление мы замечаем и после проковки под молотом. Тут уже вызывается частичное напряжение, здесь происходят насильственные удаления частиц одной от другой, потому что уменьшение удельного веса и увеличение объема прямо указывают на то, что частицы удалились друг от друга, а уменьшение удлинения, увеличение прочного сопротивления и увеличение временного сопротивления показывают, что действительно расстояние между частицами увеличилось.

Чтобы видеть, как изменяются расположения частиц, или как распределяются напряжения при обработке литой стали или литого железа помощью механических усилий без участия теплоты, для этого достаточно взглянуть, какие явления представляются нам при механической обработке в холодном виде. Так, возьмем стальной лист, обрежем его под большими ножницами, проделаем около края его несколько сквозных отверстий в холодном виде, т. е. подвергнем этот кусок холодной обработке, к которой чаще всего нам приходится прибегать в заводском деле, тогда окажется, что после обрезки под ножницами и после продавливания около края листа дыр эти кромки листа растягиваются, следовательно, под влиянием механического усилия, давления, произведенного ножницами, при срезке кромок или при продавливании отверстий около кромок

окружающие места металла становятся волнистыми. Всякий котельщик и всякий, кто видел листы, подготовляемые к скреплению котлов или мостовых сооружений, очень хорошо знает, что длина кромки после этой операции увеличивается, что кромка делается волнистой по длине. Теперь вопрос, как переходят свойства обработанной части металла к свойствам непрогнутых мест листа, не пострадавших от этой механической обработки? Этот переход весьма хорошо виден, если лист будет заранее отполирован: всякое вытягивание или перемещение частиц на полированном предмете выражается матовостью его поверхности. Всем известно, что если мы полированный брусочек будем подвергать растягиванию на гидравлическом прессе, то как только предел упругости будет достигнут и как только начнется неупругое постепенное перемещение, то в соответственном месте сейчас же на поверхности появится матовая полоса, которая ясно обозначится на том именно месте, где происходит неупругое перемещение. Так, если мы отполируем лист, сделаем или разрез или продавливание дыр, то по полированной поверхности мы увидим, где металл растягивается больше, где меньше, где растягивание совсем прекращается, и увидим, каким образом металл, измененный при помощи механических усилий в холодном виде, переходит к металлу, нетронутому обработкой. Испытывая планки, отрезанные от стальных листов ножницами для определения свойств или качеств тех листов, мы замечаем, что при растяжении образцов из них на гидравлическом прессе образцы эти, переходя за предел упругости при начале постепенного растяжения, покрываются вдруг рисунком того или другого вида. Если обратиться к тем обстоятельствам, при которых были приготовлены образцы с левой и с правой сторон, то мы заметим, что левый образец был отрезан ножницами от листа только с одной стороны, а другая сторона была обработана пилой, где не было смятия, когда же планка отрезается с обеих сторон на ножницах, тогда получаются перекрестные линии. Чтобы выяснить, отчего эти линии происходят, достаточно проследить, что происходит в соседних частях при продавливании дыр. Если мы на полированном листе в холодном состоянии продавим отверстие, то появится ряд матовых спиралей; если же мы обрежем край полированного листа под ножницами, то увидим, что эти матовые линии, по мере движения ножниц, резко распространяются. Что же из этого следует? Из этого следует, что металл при продавливании дыр растягивается не непрерывно в постоянно уменьшающейся прогрессии по мере удаления от отверстий, а только по некоторым линиям, которые так своеобразно дают себя знать на рисунке. Точно так же и при отрезке края листа под ножницами вследствие насильственного давления этой кромки растяжение частиц вовсе не выразилось непрерывным разъединением или растягиванием частиц, а выразилось по направлению каких-то особых кривых линий. Для того чтобы еще более расширить круг наших знаний относительно распределения этих напряжений, попробуем отполированный кружок или пластинку в холодном состоянии смять под молотом, чтобы увидеть, как удары, произведенные на кусок стали в холодном состоянии, нарушают связь между частями или как они растягивают металл.

Вот результат смятия кружка под паровым молотом. Кружок сначала правильно положен ребром на наковальню и одним ударом молота смят. Здесь видны следы удара, видно, как произошло смятие и по каким линиям произошло соответственное растяжение. Эти линии чрезвычайно хорошо характеризуют, каким образом распределяется внутреннее частичное напряжение и сопротивление внешним усилиям. Для объяснения этих явлений остается только сравнить с тем, что происходит при надавливании внешним механическим усилием на упругое тело. Для того чтобы яснее это видеть, можно сравнить с явлением, вызываемым механическими усилиями в стеклянных пластинках. Оказывается, что при надавливании при помощи винта или какой-нибудь другой надавливающей пластинки на стекло вызываемые в надавливаемой стеклянной пластинке напряжения весьма ясно видны при пропускании луча света. Под микроскопом или прямо через призму видно, что получаются радужные круги, весьма похожие на те волны, которые вызываются турмалиновыми пластинками при их поворачивании. Если мы надавим винтом на какую-нибудь часть стеклянной пластинки, то сейчас же около точки приложения его к пластинке появляются волны напряжения, соответствующие сопротивлению внешним механическим усилиям, сопротивлению растяжению, раздроблению или изменению формы предметов. Эти волны чрезвычайно сходны с теми явлениями, которые мы замечаем на полированных стальных пластинках после того, как продавим в них дыры, сомнем их или обрежем. Не входя в подробности, почему происходит это изменение в металле, так как оно еще мало освещено, я считал только нужным обратить внимание на аналогию этих явлений в других упругих телах.

По исследованиям, которые были сделаны над пластинками и вызванными в них линиями растяжения, оказывается, что в этих линиях действительно только и произошло растяжение. При испытании на гидравлическом прессе потом на разрыв таких пластинок оказалось, что там, где были линии, тягучесть металла изменилась, иначе говоря, происходил процесс растягивания, как в куске проволоки, т. е. в тех местах, где металл удлинялся, там получался высший предел упругости, меньшая тягучесть.

Обращаясь к третьему способу обработки металлов, именно при помощи только одной теплоты — без участия механической силы, мы имеем дело, как всем известно, с нагреванием металла, соединенного с более или менее быстрым охлаждением, т. е. с операцией, которая разделяется на закалку, отпускание (отпуск) и отжигание (отжиг).

Какое громадное влияние оказывает теплота на свойства стали при ковке — это мы уже видели. Но особенно велико ее влияние тогда, когда вместе с нагревом соединено очень быстрое охлаждение, когда происходит закалка.

Явление закалки в общих чертах можно объяснить следующим образом. Когда мы нагреваем сталь до температуры красного каления около 750—800°, когда она примет аморфное воскообразное сложение, тогда если мы будем ее очень быстро охлаждать, то мы предупредим образова-

ние крупных кристаллов, крупных зерен, предупредим возможность группировки частиц в отдельные зерна, и если мы не дадим вовсе времени для какой бы то ни было группировки частиц, то мы задержим это воскообразное состояние и получим по охлаждении структуру, ничего общего не имеющую с кристаллической. Для этого нужно, нагревши сталь до красного каления, подвергнуть ее быстрому охлаждению, и чем больше мы охлаждаем ее, тем больше задерживаем это аморфное состояние. Но если мы быстро охлаждаем сталь после нагревания до красного каления, мы вместе с тем попутно имеем дело еще с химическим процессом — именно, мы углерод, заключающийся в стали, задерживаем, так сказать, в том состоянии, которое он имел при нагревании до красного каления. Что эта обработка нагреванием, соединенным с охлаждением, имеет большое влияние на химический состав стали — это покажет анализ. Если при помощи химического анализа мы будем определять углерод в стали в незакаленном состоянии, то окажется, что он заключается в ней в виде некоторого химического соединения с железом, а если мы будем анализировать сталь закаленную, то окажется, что весь углерод, заключающийся в стали, находится в состоянии аморфном, равномерно распределенным по всей массе стали, не входящим ни в какое химическое соединение с железом. Это позднейшее исследование английского химика Абеля весьма ясно показало, что обработка помощью нагревания и охлаждения могла влиять на химический состав стали в смысле того или другого соединения железа с углеродом. Помимо изменения в химическом составе, при закалке наблюдаются очень важные изменения в отношении объема, а стало быть и в отношении удельного веса. Если мы измерим кусок стали до закалки и после закалки, то заметим, что объем его значительно увеличился от закалки. Так как вместе с тем сильно возрастает и твердость, то можно было бы прийти к заключению, что чем больше удлинение бруска, тем тверже сталь и тем большую она получает закалку.

Ниже приведена таблица изменений длины кованых стальных брусочков после закалки и отпуска [6*].

Брусочки около $^1/_2$ дюйма в квадрате подвергались быстрому охлаждению после нагрева до красного каления с тем, чтобы измерить изменение объема. Изменение объема измерялось при помощи измерения длины, так как это давало меньшую ошибку.

Мы видим, что для всех брусков, которые были закалены, везде разность имела положительное значение, т. е. все бруски после закалки увеличились в своей длине. Некоторые бруски, как видно из таблицы, подвергались вторичной закалке, и в графе помещается вторая разность. Из рассмотрения первой и второй разности оказывается, что при закалке изменяется только в первый раз объем стали, и если хорошо она закалилась, тогда следующая закалка не может изменить объема. Это доказывает, что при закалке, если она сделана правильно, т. е. нагревание довольно значительно и охлаждение достаточно быстро, тогда получается крайнее увеличение объема, крайнее возможное напряжение между частицами, без их разрушения. Если с закалкой связано увеличение объема и расстояния между частицами, то при обратном движении, при отпускании, при

нагревании закаленной стали вновь до некоторой температуры, например около 200—300°, когда появляется первая желтая побежалость, закалка ослабевает и вместе с тем уменьшается объем, т. е. увеличивается плотность стали. Брусок № 8 после первой закалки подвергался отпусканию. Первое отпускание было сделано так, что верхний бок был отпущен до желтой побежалости, а нижний бок отпущен был до синей побежалости, тогда здесь получилась отрицательная разность, т. е. длина уменьшилась с той стороны, где брусок был больше нагрет, т. е. где более были уничтожены следы закалки. После вторичного отпускания оба бока были отпущены до синего цвета, и вторая разность получилась 0 для того бока, который уже был раз отпущен, и затем уменьшилась длина того бока, который ранее был меньше отпущен. Если нагреть закаленный брусок потом опять до красного цвета и заставить его медленно охлаждаться, то заметим, что этот брусок примет свои прежние размеры.

Отсюда видно, что закалка, или очень быстрое охлаждение стали после нагревания до красного цвета, есть явление весьма характерное, выражающееся в увеличении объема, т. е. в уменьшении удельного веса, в крайнем напряжении частиц, выражающееся весьма большим возрастанием твердости, уменьшением растяжения и появлением хрупкости в металле. Как сильно влияет быстрое охлаждение, как велико увеличение объема при закалке — это видно на брусочках. Если брусочек после нагревания закалить только одной стороной, погрузить в воду так, чтобы одна сторона получила закалку, тогда брусок сильно искривляется, закаленная сторона делается выпуклой, а незакаленная — вогнутой.

Для того чтобы сгруппировать вместе результаты обработки, которой подвергается сталь или литое железо, приведем следующие данные. От одной и той же литой болванки отрезаны рядом несколько брусков, и эти бруски подвергнуты различным обработкам.

Один брусок, вырезанный из литой болванки без всякой дальнейшей обработки, был подвергнут разрыву на прессе и дал следующие цифры:

Предел упругости	1325 *кГ/см*^{2}
Временное сопротивление	4637 »
Удлинение	9% при длине образца в 5,23 дюйма

Следующий кусок, вырезанный из той же болванки, был прокован при высокой температуре и медленно охлажден; этот брусок дал:

Предел упругости	1925 *кГ/см*^{2}
Временное сопротивление	5611 »
Удлинение	11% при длине образца в 5,74 дюйма

Рядом с этим для объяснения параллельного влияния только одной теплоты, не связанной с механической обработкой, брусок был нагрет до красного каления, охлажден в воде до бурого цвета и затем медленно охлажден. Это охлаждение в воде имело целью по возможности ускорить время понижения температуры от красного каления до темно-бурого цвета, чтобы не дать развиться тем кристаллам, которые могут образоваться в стали под влиянием спокойного медленного охлаждения до той же

температуры: ускоряя этот период, мы затрудняем образование кристаллов. Затем брусок медленно охлажден, стало быть после обработки теплотою он получил уже свойство незакаленной стали: 13% удлинения показывают, что он не получил никакой закалки. Брусок дал следующие цифры механического испытания:

Предел упругости	2825 *кГ/см*^{2}
Временное сопротивление	6214 »
Удлинение	13% при длине образца в 6,2 дюйма

Мы видим, что образец этот показал числа, бóльшие предшествующих.

Для того чтобы параллельно сравнить влияние ковки, продолженной до температуры, низшей против обыкновенного красного каления, низшей против той, при которой происходит слипание частиц или воскообразное состояние, брали брусок, сильно вытянутый ковкой до бурого цвета. Здесь уже являются следы механической обработки без участия теплоты, — я говорю, следы, потому что брусок был еще нагрет до бурого цвета, когда над ним совершалась последняя механическая обработка. Здесь при значительном увеличении предела упругости, при незначительном, в общем, увеличении временного сопротивления замечается уже уменьшение тягучести; вот цифровые данные его механического сопротивления:

Предел упругости	4550 *кГ/см*^{2}
Временное сопротивление . . .	6149 »
Удлинение	9,6%

Наконец, брусок прокован при высокой температуре, охлажден в воде совсем и затем отпущен до бурого цвета.

Здесь дело механической обработки предоставлено действию теплоты. Брусок охлаждался под влиянием ударов молота, под влиянием силы, мешающей группировке кристаллов, и, кроме того, был охлажден тоже при высокой температуре, также мешающей группировке кристаллов.

И чтобы удалить всякое влияние закалки, т. е. уничтожить результат химического состояния углерода, брусок был отпущен до бурого цвета.

Влияние этой обработки сказалось более, нежели влияние весьма сильной ковки, а именно:

Предел упругости	6300 *кГ/см*^{2}
Временное сопротивление . . .	9008 »
Удлинение	3%

Тягучесть металла уже значительно изменилась. Из приведенных данных видно, как над одним и тем же куском стали при помощи главным образом теплоты можно производить такие изменения в качествах, что результаты обработки того же самого металла иногда совершенно непохожи на результаты, получаемые при первоначальном испытании металла или при других способах обработки.

Очень часто, чтобы получить изделия известных качеств, обращают особое внимание на химический состав стали. Если мы возьмем сталь или литое железо с теми примесями, которые у нас встречаются в металлурги-

ческих процессах, если возьмем довольно значительную, на первый взгляд, разницу по составу стали, то при тождественных условиях обработки мы заметим меньшую разницу в свойствах, нежели можем встретить в одном и том же куске металла при различных способах обработки. Для того чтобы еще нагляднее это себе представить, в предыдущих данных было устранено влияние третьего способа обработки, именно закалки. Последний брусок, обработанный сначала легкой ковкой при высокой температуре, хотя и был охлажден в воде, но был отпущен и всякий след закалки был уничтожен, но там не был введен еще один фактор — именно медленное охлаждение и отжигание.

Ниже сгруппированы все типичные приемы обработки. Это результаты обработки стали различными путями, причем сталь была вырезана из снаряда Круппа 11-дюймового калибра.

Испытание было сделано на прессе и дало следующие результаты для вырезанного бруска без обработки:

Предел упругости	7800 *атм*
Временное сопротивление	10900 »
Удлинение	5% при длине образца в 6,85 дюйма

Другой брусок из того же снаряда был подвергнут отжиганию, т. е. нагрет до красного каления и весьма медленно в течение полусуток охлаждался. Такой же отожженный брусок из той же самой стали дал совершенно непохожие на первые результаты; вот данные:

Предел упругости	2200 *атм*
Временное сопротивление	6800 »
Удлинение	15,3% при длине образца в 4,5 дюйма

Вырезанный из того же самого снаряда третий брусок был нагрет до красного каления и прокован. Это самая обыкновенная ковка, вот ее результаты:

Предел упругости	3700 *атм*
Временное сопротивление	8800 »
Удлинение	10% при длине образца в 6 дюймов

Рядом с ним был прокован при тех же условиях и потом закален в масле, нагретом до 150°, брусок, который дал результаты, значительно превосходящие предшествующие, а именно:

Предел упругости	8800 *атм*
Временное сопротивление	13600 »
Удлинение	4,1% при длине образца в 5,8 дюйма

Затем также закаленный в масле, нагретом до 250°, предварительно прокованный кусок дал:

Предел упругости	9200 *атм*
Временное сопротивление	12900 »
Удлинение	6% при длине образца в 9,2 дюйма

Брусок, вырезанный из того же снаряда, прокованный, закаленный в воде и отпущенный до 300°, т. е. до температуры, при которой в стали остается еще половина углерода в том аморфном состоянии, которое соответствует полной закалке, отпущенный только для того, чтобы иметь возможность выточить затем на станке образец для испытания, при котором получились следующие данные:

Предел упругости	12200 *атм*	
Временное сопротивление	14500 »	
Удлинение	3,7%	при длине образца 5,28 дюйма

Все приведенные цифры временного сопротивления отнесены к первоначальной площади образца, взятого для испытания, а не к той, которая соответствовала разрывающему усилию. Если для этого последнего образца, при 14 500 *кГ/см*², отнесенных на первоначальную площадь сечения, отнести разрывающий груз на площадь разрыва, тогда окажется, что сопротивление на площади разрыва выразится цифрой 24 500 *кГ/см*².

Я только обращаю ваше внимание на то, какое разнообразие можно получить в результатах, подвергая одну и ту же литую сталь и одно и то же литое железо различным способам обработки. Иногда очень мало уловимые, на первый взгляд, отклонения от той или другой методы обработки вызывают значительно большие отклонения в результатах, нежели некоторые отступления в химическом составе стали.

Для того чтобы обратиться к исследованию некоторых других качеств стали и железа, кроме тех, которые зависят от механической обработки, посмотрим на следующую сторону явлений. Нам известно, например, что закаленная сталь и незакаленная относятся различно к магнетизму и электричеству. В незакаленном состоянии мягкая сталь весьма чувствительна и восприимчива к влиянию намагничивания, а закаленная сталь в этом отношении мало чувствительна: первая почти не удерживает вызванного в ней магнетизма, а вторая чрезвычайно долго и упорно удерживает. Для того чтобы мы могли правильно наблюдать малейшие влияния механической обработки на свойства литого железа и стали, было бы очень хорошо, если бы мы обратились для измерения указанных влияний именно к восприимчивости стали к магнитным влияниям. Эту сторону вопроса разработал один из английских ученых проф. Юз [7*], трудами которого я в настоящее время пользуюсь. Юз устроил особые магнитные весы для определения степени магнитной восприимчивости данного куска, т. е. степени напряженности частичных сил, чтобы по этому признаку судить о степени закалки стали данного состава или же судить о твердости данной незакаленной стали.

Идея устройства магнитных весов Юза заключается в следующем. Между катушками-соленоидами помещена магнитная компасная стрелка, подвешенная на шелковой паутинке; прибор устанавливается так, чтобы северный конец стрелки совпадал с нулем лимба при перпендикулярном положении стрелки к оси прибора. Вправо от правого соленоида по отношению к стрелке расположен пластинчатый магнит — компенсатор, вращающийся около вертикального штифта по кругу — лимбу, разделен-

ному от нуля в правой или левой частях — четвертях окружности по 360°. Деления эти условно названы градусами. Левый соленоид является предметным — для помещения в нем испытуемого куска стали. Правый соленоид выбирается таких размеров и устанавливается в таком расстоянии от магнитной стрелки, чтобы один и тот же ток, пропущенный через оба соленоида, уравновешивался в его влиянии на магнитную стрелку, которая при этом совпадала бы северным концом с нулем своего лимба. При вкладывании в левый соленоид испытуемого куска железа или стали под влиянием тока он превращается в электромагнит тем более сильный, чем более восприимчив металл к магнетизму, и, следовательно, тем большее отклонение магнитной стрелки будет вызвано таким электромагнитом; для приведения стрелки в нормальное ее положение поворачивается компенсатор в ту или другую сторону, причем число делений поворота служит мерилом магнитной чувствительности испытуемого куска стали или железа. Для устранения влияния, существовавшего в испытуемом металле до опыта или задерживаемого в нем во время опыта магнетизма, Юз каждый раз после отметки показания компенсатора опрокидывал ток в обратную сторону и отмечал снова показание компенсатора, повернутого в другую сторону; оба показания складывались, и сумма их служила мерилом физического состояния испытуемого металла. Юз производил свои опыты при помощи весьма слабых токов, употребляя один элемент Даниэля и вводя в цепь катушку сопротивления от 10 до 100 *ом*. Результаты опытов Юза выражаются следующими положениями:

1) при слабых токах магнитная восприимчивость прямо пропорциональна мягкости стали или железа, т. е. молекулярной свободе;

2) сопротивляемость слабым внешним магнитным влияниям прямо пропорцинальна твердости или молекулярной напряженности.

Для опытов Юз брал проволоку в 1 *мм* диаметром и 10 *см* длиною. При вкладывании мягкого железа в катушку-соленоид и при замыкании тока железо быстро намагничивается; если же мы также поместим вместо мягкого железа стальной сильно закаленный брусок, он останется совершенно не намагниченным, и только через продолжительное время в нем может развиться магнетизм, который, с другой стороны, весьма упорно удерживается по удалении намагничивающего влияния. Вот если мы прибегнем к этому свойству и станем говорить, в какой мере данный брусок под влиянием постоянного тока чувствителен к магнетизму, насколько он восприимчив и насколько он задерживает в себе магнетизм, тогда мы можем верно сказать, насколько два данных бруска, поставленных в эти условия, разнятся между собой по твердости. Нужно заметить, что Юз, в видах большой точности исследования присылаемых на испытание образцов, просил непосредственно тех фабрикантов, от которых получалась проволока для испытания, чтобы она была выбрана из лучших кусков металла — без всяких пороков и отличалась бы равномерностью. Чтобы и далее устранить всякую неточность, Юз требовал обозначения способа изготовления образцов.

Степень мягкости для первой проволоки по таблице Юза обозначается в 230° по прибору — это в первоначальном ее состоянии, а в отожженном

Название материалов	Сопротивление электрическому току 1 мили проволоки, омы	Сопротивление разрыву, тонны на кв. дюйм	Магнитная восприимчивость проволоки			Содержание углерода, %
			первоначальной	отожженной	после закалки	
1. Шведское кричное железо	191,5	28	230	525	435	0,09
2. Шведское литое железо мартеновское *	226,3	34	165	430	390	0,10
3. Пудлинговое железо	259,9	30	212	340	328	0,10
4. Бессемеровская сталь	266,52	35	150	291	255	0,15
5. То же, твердая **	312,7	50	115	172	60	0,44
6. Тигельная инструментальная сталь	350	55	50	84	28	0,62

* Шведскому железу закалка придает около 25% твердости, а холодная наклепка увеличивает твердость на 50%.

** В твердой стали наоборот: закалка увеличивает твердость на 400%, а наклепка только на 50% — все эти данные по масштабу Юза.

она возрастает вдвое (525°). Это есть результат обработки металла при различных степенях отжига. В приведенной таблице помещены данные в магнитном отношении для разных металлов (с содержанием углерода 0,09—0,26%) в разной их обработке. Металл образцов очень чистый по его химическому составу в смысле вредных примесей, кроме одного образца, в котором фосфора насчитывалось около 0,2%, а в других сравнительно немного. Марганца и кремния — немного, так что главное значение заключалось во влиянии углерода. Сопротивление электрическому току выражено в омах и длина проволоки в английских милях. Это доктор Смит производил весьма тщательные определения сопротивления, так что приведенные в таблице цифровые данные заслуживают полного доверия. Оказывается, что сопротивление электрическому току возрастает по мере возрастания твердости и это возрастание сопротивления прямо обратно цифрам, выражающим магнитную восприимчивость. В следующих трех графах записаны суммы отклонения различных металлов в разных их состояниях: в первоначальном, в состоянии отжига и после закалки. Если мы сравним эти три графы, то увидим, что закалка влияет на мягкие сорта гораздо меньше, нежели результат механической обработки в холодном состоянии, следовательно, влияние правой стороны гораздо более, чем левой.

Для тигельной стали сумма отклонений для отжига — 84, а в состоянии холодной обработки в проволоке — 50, почти вдвое менее. При протяжке проволоки оказывается, что в отожженном состоянии она дает большие отклонения, чем в закаленном. В графе, где показано сопротивление разрыву в тоннах на кв. дюйм, видно, как сопротивление растет, с одной стороны, по мере увеличения электросопротивления, а с другой, возрастания твердости: чем меньше показания по Юзу в магнитной восприимчивости, тем металл тверже.

Отсюда ясно видно, что механическая обработка действительно влияет на расположение частиц, что в механической обработке мы главным образом имеем дело с частичными силами. Эти свойства показывают, что для некоторых случаев, как, например, для телеграфной проволоки, механическая обработка выразится уменьшением магнитной восприимчивости и что отжигание, сообщаемое ей, увеличивает эту магнитную восприимчивость, а также и повышает ее электропроводность. Отсюда невольно напрашивается практический вопрос, как важно при громадных электрических проводах наблюдать за тем, чтобы проволока была хорошо отожжена.

Я очень сожалею, что ограниченность времени не позволяет нам входить в очень подробное рассмотрение тех или других сторон обработки и мы должны ограничиться только беглым взглядом на те результаты, которые дает механическая обработка. Но из тех данных, которые мы могли сгруппировать в сегодняшний вечер, довольно ясно вытекает заключение, что больше всего наше искусство должно быть направлено к урегулированию обработки и что далеко не всегда или, по крайней мере, гораздо в меньшей степени нам нужно ставить какие-нибудь условия для химического состава литой стали или литого железа, которые нам приходится потреблять, и что гораздо строже нужно относиться к тем способам обработки, которым она подвергается на заводах. Мы недавно много рассуждали на съезде по сталерельсовому и бандажному делу, какая громадная разница замечается часто в рельсах и бандажах, выходящих с одного и того же завода, и как важно в самом деле урегулировать искусство обработки металлов, помимо искусства получать металлы того или другого химического состава. Недостаточно еще получить химически чистый металл, а нужно еще стремиться к урегулированию и упорядочению дальнейшей механической его обработки.

6

О ВЫГОРАНИИ КАНАЛОВ В СТАЛЬНЫХ ОРУДИЯХ [1*]

(Доложено в собрании Русского металлургического о‹бщест›ва 10 мая 1912 г.)

В 1889 г., когда я был приглашен Михайловской артиллерийской академией читать лекции по сталелитейному делу, мне была предложена составленная генералом Гадолиным и утвержденная конференцией Академии программа, в которую были включены вопросы, относящиеся к изготовлению орудий, снарядов и броневых плит. В число таких специальных вопросов был включен параграф о стойкости стали против разрушительного действия пороховых газов, или о так называемом *выгорании* каналов стальных орудий при стрельбе.

Ввиду того что в русской литературе этот последний вопрос вовсе не был разработан, я обратился к поискам о нем в иностранной литературе.

Оказалось, что единственная до того времени серьезная работа над этим вопросом была произведена тогдашним начальником Вульвичского арсенала, полковником Мэтландом, совместно с химиком сэром Абелем [2*]; она была доложена в 1886 г. в общем собрании Английского института железа и стали в Лондоне и затем напечатана в журнале этого института, вместе со стенографически записанными прениями по этому докладу [1].

При всей скудности литературного материала даже эта единственная работа не могла быть мною использована для моих лекций в Академии, так как, по признанию самих авторов ее, ни химический состав стали, ни механические качества ее не дают никаких определенных указаний на стойкость стали против выгорания. Хотя из опытов выяснилось некоторое влияние хорошей обработки стали, в смысле большей плотности и более равномерной структуры, но это влияние выразилось так незначительно, что сэр Абель говорит: «существует, очевидно, какой-то до сих пор неисследованный фактор, который имеет в этом отношении преобладающее значение» [2]. Обмен мнений после доклада также ни к какому определенному выводу не привел, несмотря на участие в прениях таких авторитетов, как Vickers, Adamson, Markham, Bramwell, Smith, Hall, Walker, Bessemer, colonel Dyer, F. Siemens, Head, J. Percy.

Таким образом, мне оставалось разработать этот вопрос на основании своих личных наблюдений над явлениями выгорения и, по соображению с теми условиями, в которых находится металл стенок орудия во время стрельбы, прийти совершенно самостоятельно к отысканию, по выражению сэра Абеля, того «существующего, очевидно, какого-то до тех пор неисследованного фактора, который имеет в этом отношении преобладающее значение».

Все нижеизложенное представляет содержание включенного в мой курс параграфа о явлении выгорания в том виде, как он излагается мною на лекциях в Академии, с демонстрацией образцов и фотографических снимков, в течение 23 лет, начиная с 1889/1890 учебного года. В более сжатом виде и без иллюстраций это изложено в литографированных записках Академии «Сталелитейное дело» [3].

---

[1] Journal of the Iron and Steel Institute, vol. XXIX, N 11 — 1886, p. 465. The erosion of gun barrels by powder products. By Sir F. A. Abel and E. Maitland.

[2] «. . .it now became evident that some agency, nitherto unsought for, overpowered them and dominated the results» (p. 471).

[3] Впоследствии, в 1898 г., в Англии была произведена новая работа по этому же предмету, принадлежащая Робертс-Аустену (Professor *Roberts-Austen* [3*]. The action of the projectil and of the explosives of the tubes of steel guns. — Journal of the Iron and Steel Institute, 1898, vol. II, p. 233), доложенная в Стокгольме на митинге Института железа и стали в августе 1898 г. В прениях по этому докладу участвовали: Snelus, prof. Arnold, Nordenfeld, Bauerman, prof. H. Howe, Crosland, Windsor Richards and E. P. Martin (президент Института). Однако и в этой работе все внимание было сосредоточено на термохимических, механических и структурных явлениях и вовсе не уделено места для рассмотрения физико-геометрических явлений, играющих главнейшую роль в данном вопросе, а потому естественно, что и на этот раз вопрос остался совершенно невыясненным. Между прочим, автор упоминает, что он обращался за советом к Осмонду, который счел по меньшей мере неосторожным (unwise) высказаться определенно в то время (1898 г.) по такому важному вопросу. Само

Первые признаки выгорания в орудии обозначаются появлением матовых пятен на полированной поверхности канала, преимущественно в зарядной каморе, на верхней половине ее окружности, близ ската и на самом скате, в начале нарезов. Внимательное рассмотрение гуттаперчевых слепков (отпечатков) с этих мест показывает, что мат зависит от появления сетей из образующихся в металле чрезвычайно тонких, очень неглубоких трещинок.

Обыкновенно вначале эти сетки не имеют законченных (сомкнутых) петель, а представляют только группу пересекающихся между собою отдельных веточек (см. схему фиг. 1), разбросанных по разным направлениям. По мере же повторения выстрелов отдельные трещинки удлиняются, встречаются с соседними и образуют замкнутые петли (см. схему фиг. 2) сплошной сетки. Величина таких петель и их рисунок вообще довольно разнообразны, в зависимости от калибра и длины орудия, формы нарезов, сорта пороха, структуры металла и т. п.; но в каждом частном случае, для одного и того же орудия, рисунок имеет по всему протяжению соответственной части выгоревшего места в канале одинаковый характер.

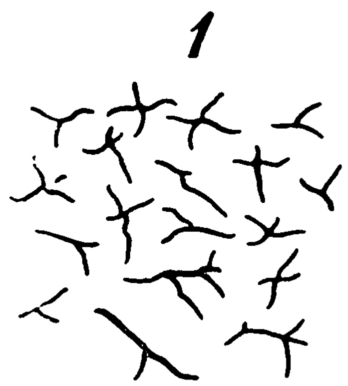
При дальнейшем повторении выстрелов как глубина, так и ширина первоначальных трещинок увеличивается, причем на скате каморы и в начале нарезов такое расширение и углубление в большей степени замечается в тех трещинах, расположение которых более или менее близко совпадает с направлением оси орудия, а следовательно, и с направлением движения пороховых газов.

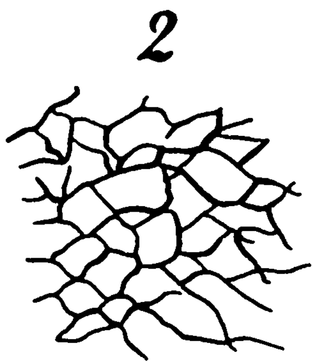
На схеме фиг. 3 толстыми линиями начерчены те места сетки, которые наиболее увеличиваются в ширину и глубину. Это последнее обстоятельство объясняется тем, что пороховые газы и несгоревшие частицы пороха, прорываясь в зазор между снарядом и стенками канала, избирают путь наименьшего сопротивления и следуют по тем частям трещин, которые ближе подходят к направлению их движения. По мере продолжения стрельбы разгорание распространяется в длину по нарезам, достигая своего максимума на некотором расстоянии от начала нарезов, и затем опять убывает почти до полного исчезновения в дульной части орудия (см. фотографические снимки A и B, табл. IV, двух разрезанных вдоль 3-дюймовых орудий, выдержавших около 3000 выстрелов). Здесь уже ясно обозначается весь характер собственно механического действия продуктов горения пороха, т. е. истирание стенок канала продольными бороздами (см. схему фиг. 4).

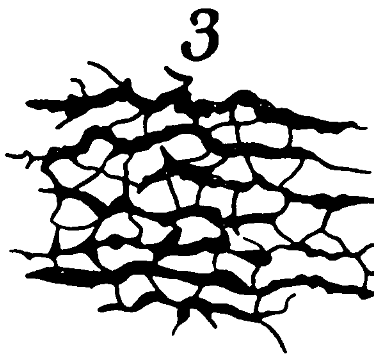
Необходимо прибавить, что, несмотря на истирание стенок канала, первоначальная сетка трещин продолжает оставаться на изборожденной поверхности нарезов, причем на полях значительно преобладают поперечные трещины, перпендикулярные к направлению нарезов (см. схему фиг. 5 и фотограмму C табл. IV). К этому механическому разрушительному действию газов присоединяется затем еще и механическое действие снаряда. Ведущий поясок, обыкновенно из мягкого металла, врезываясь в нарезы,

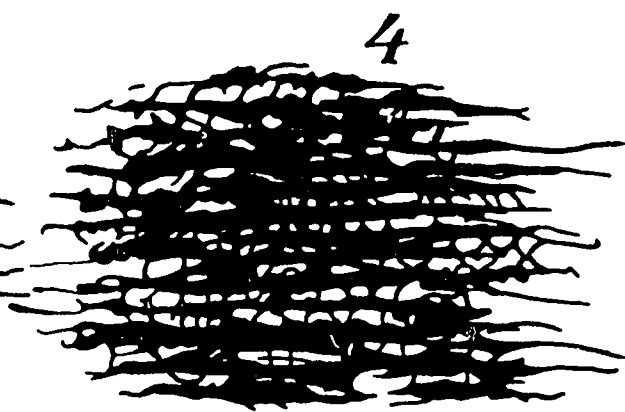
---

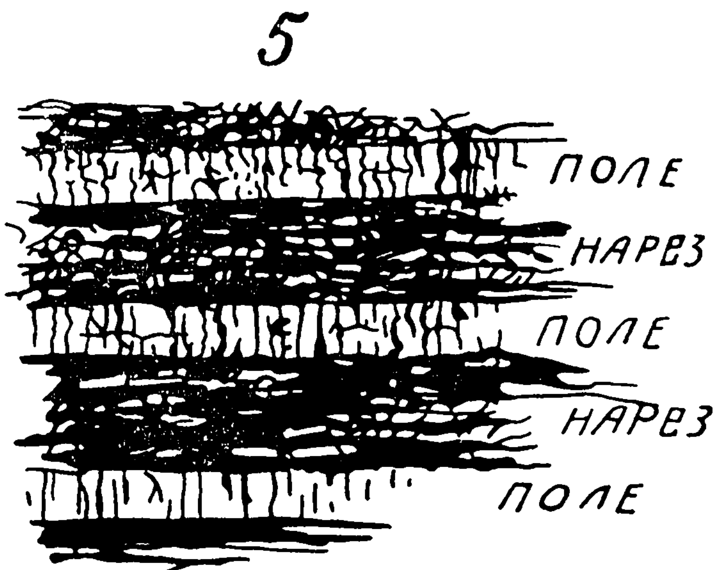
собою разумеется, что появление этой работы не могло вызвать ни малейших изменений в моем академическом курсе, установленном с 1889 года.

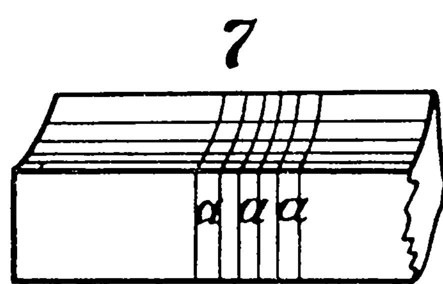

1

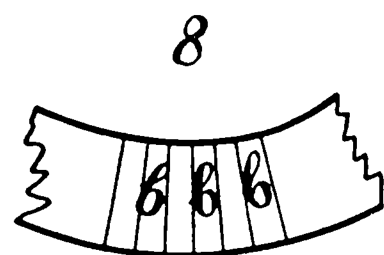

2

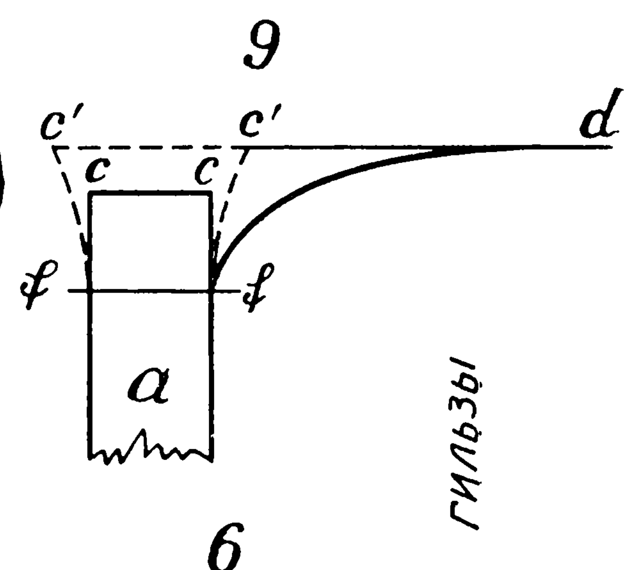

3

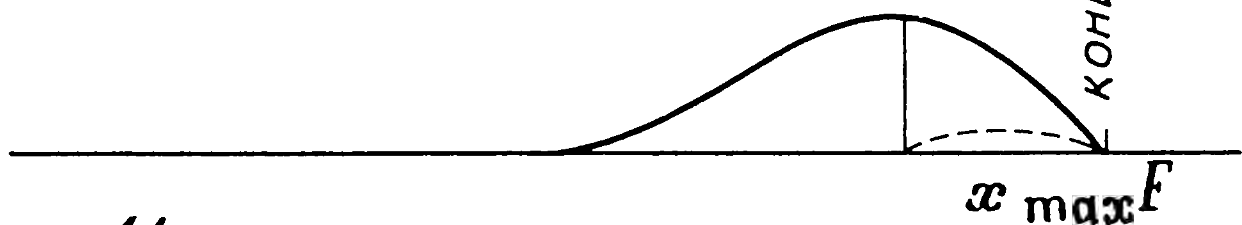

4

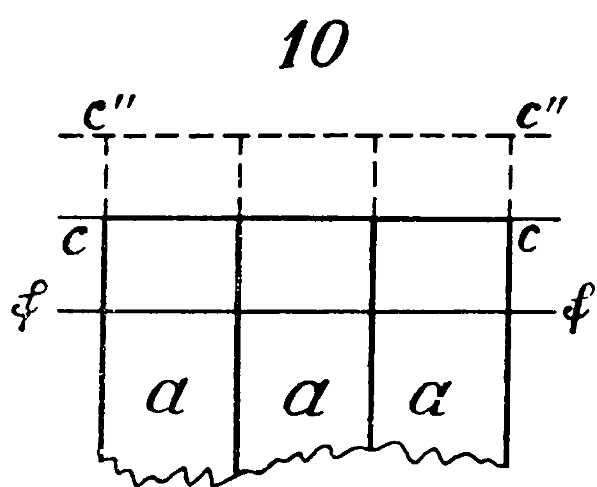

5
ПОЛЕ
НАРЕЗ
ПОЛЕ
НАРЕЗ
ПОЛЕ

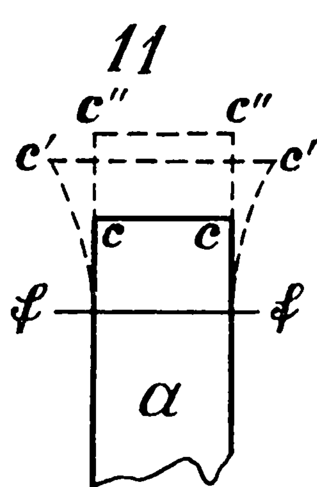

7
a a a

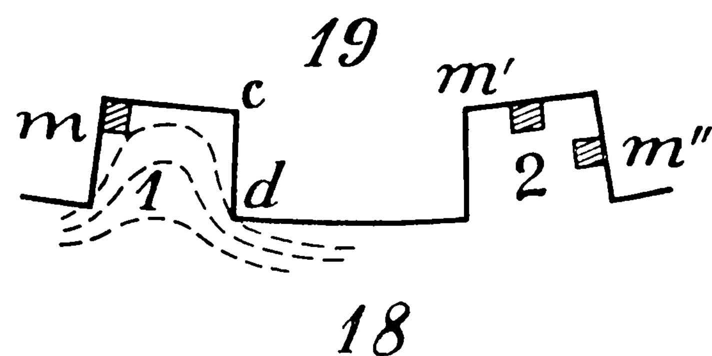

8
b b b


9
c′ c′ d
c c
f f
a
КОНЕЦ ГИЛЬЗЫ

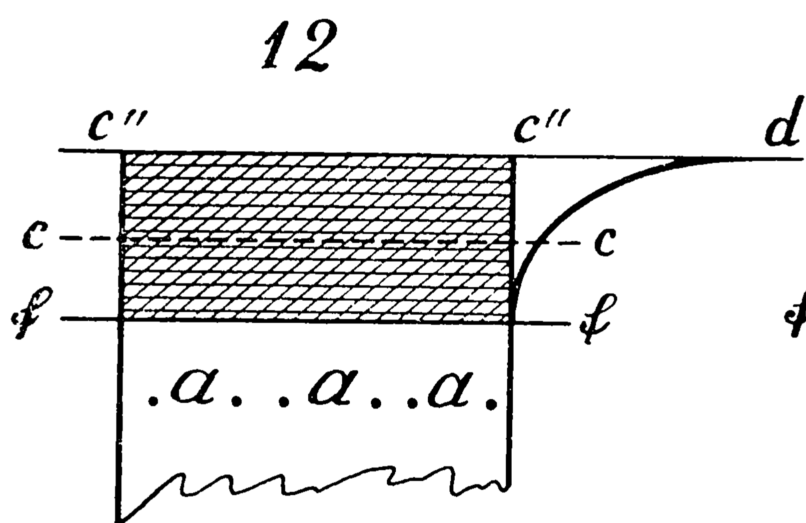

6
x max F

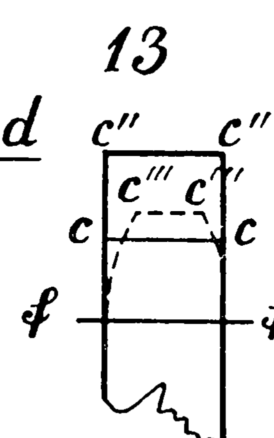

10
c″ c″
c c
f f
a a a

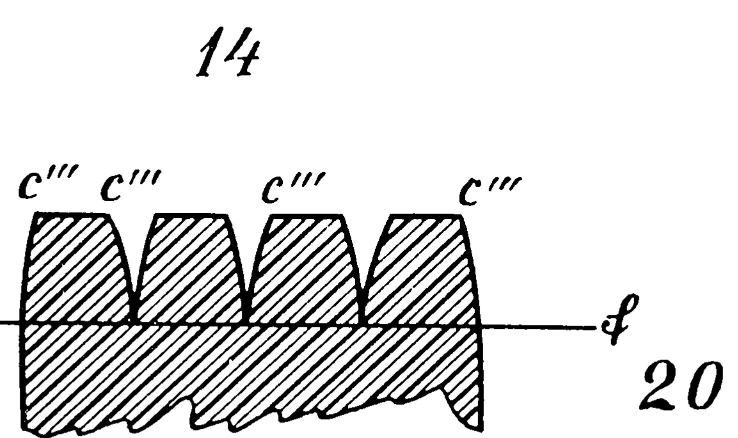

11
c″ c″
c′ c′
c c
f f
a

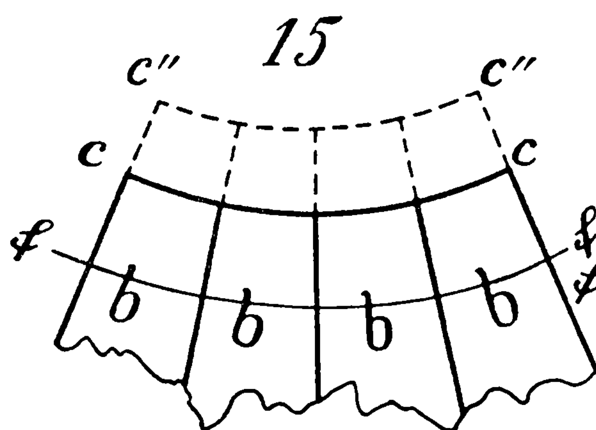

19
m c m′
1 d 2 m″

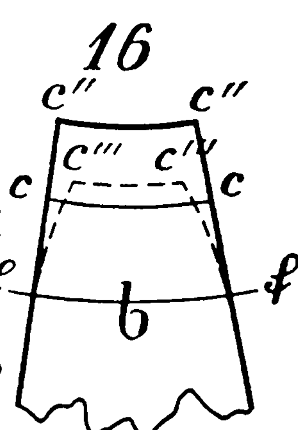

18

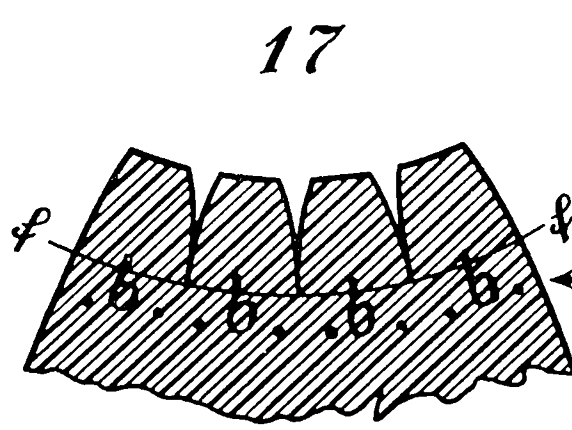

12
c″ c″ d
c c
f f
a a a

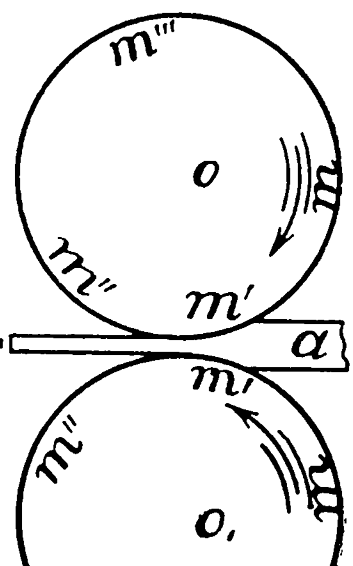

13
c″ c″
c‴ c‴
c c
f f


14
c‴ c‴ c‴ c‴
f
20


15
c″ c″
c c
f f
b b b b


16
c″ c″
c‴ c‴
c c
f f
b


17
f f
b b b b


m‴
o
m
m″
m′
a
m′
m″
m
o,

производит очень большое давление на поля и грани. Как скоро образовались трещины — преимущественно поперечные на полях и гранях нарезов, — мягкий металл ведущего пояска вследствие огромного давления, в особенности на боевую грань, вжимается в эти трещины и срывает небольшие частицы стали с ребер полей, оставляя на них неровности, которые с каждым следующим выстрелом все более увеличивают заедание снарядных поясков и усиливают разрушение канала. Так как ближайшей причиной этого последнего вида разрушения являются образующиеся на полях трещины, то и максимум этого разрушения приходится на том же поясе канала, где находится наибольшее развитие первоначальной сетки, с исчезновением которой в дульной части орудия исчезает и срывание ребер полей и вообще канал становится гладким и неповрежденным, как это ясно видно на фотографиях разрезанных орудий.

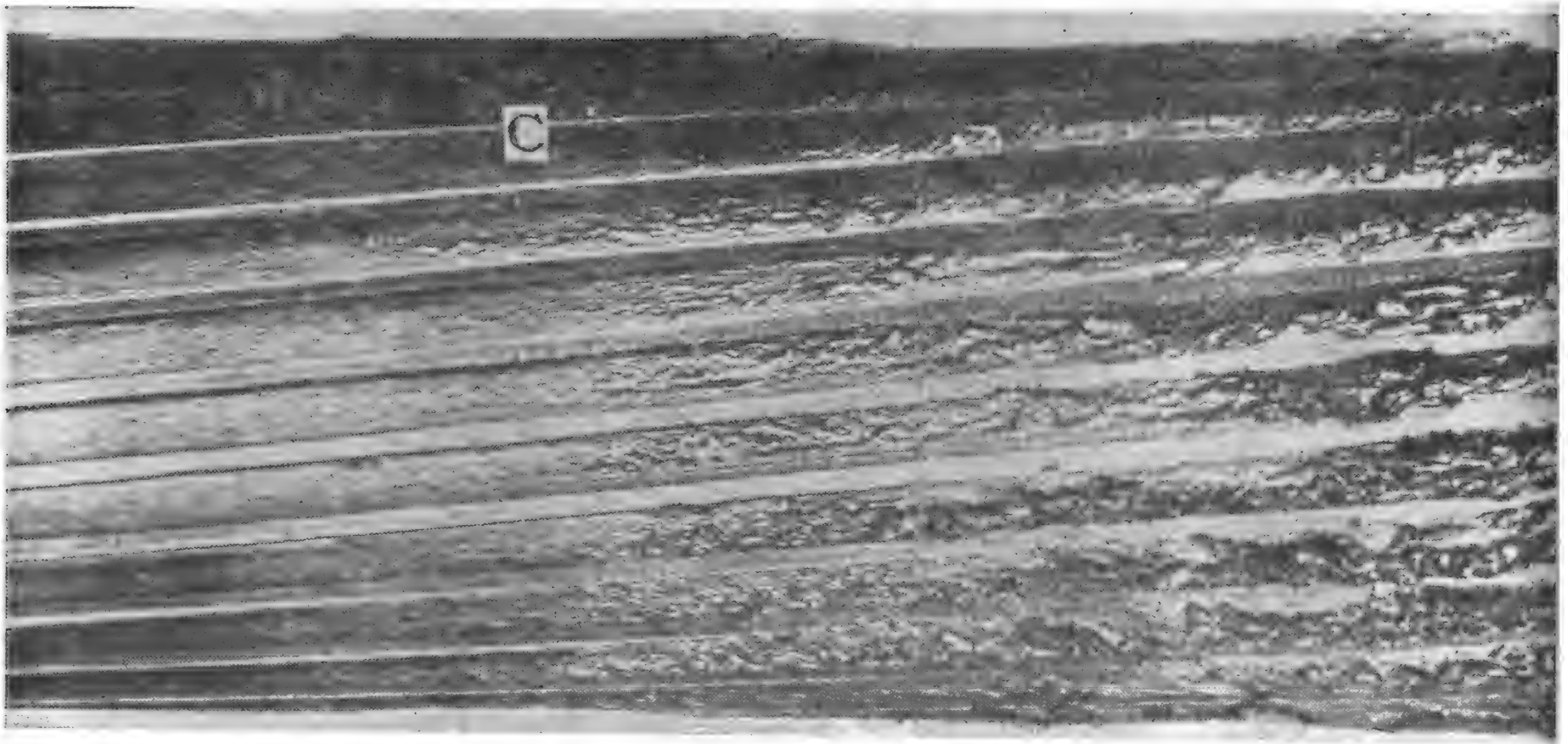
Срывание ребер с полей иногда переходит в полное их вырывание целиком до глубины нарезов, даже глубже их дна, так что на местах сорванных полей остаются борозды в виде как бы своего рода нарезов. Это особенно рельефно видно на фотограмме D.

Распределение разрушительного действия в канале для наглядности можно изобразить диаграммой фиг. 6, где за абсциссы приняты расстояния от зарядной каморы по направлению к дульной части, а за ординаты — сравнительная степень развития трещин и вырванных частиц металла. Отсюда видно, что разрушительное действие выгорания распространяется далеко не на всю длину канала орудия и что максимум этого разрушения располагается впереди зарядной каморы, в некотором расстоянии от начала нарезов, затем последовательно убывает и около средины канала почти совершенно исчезает.

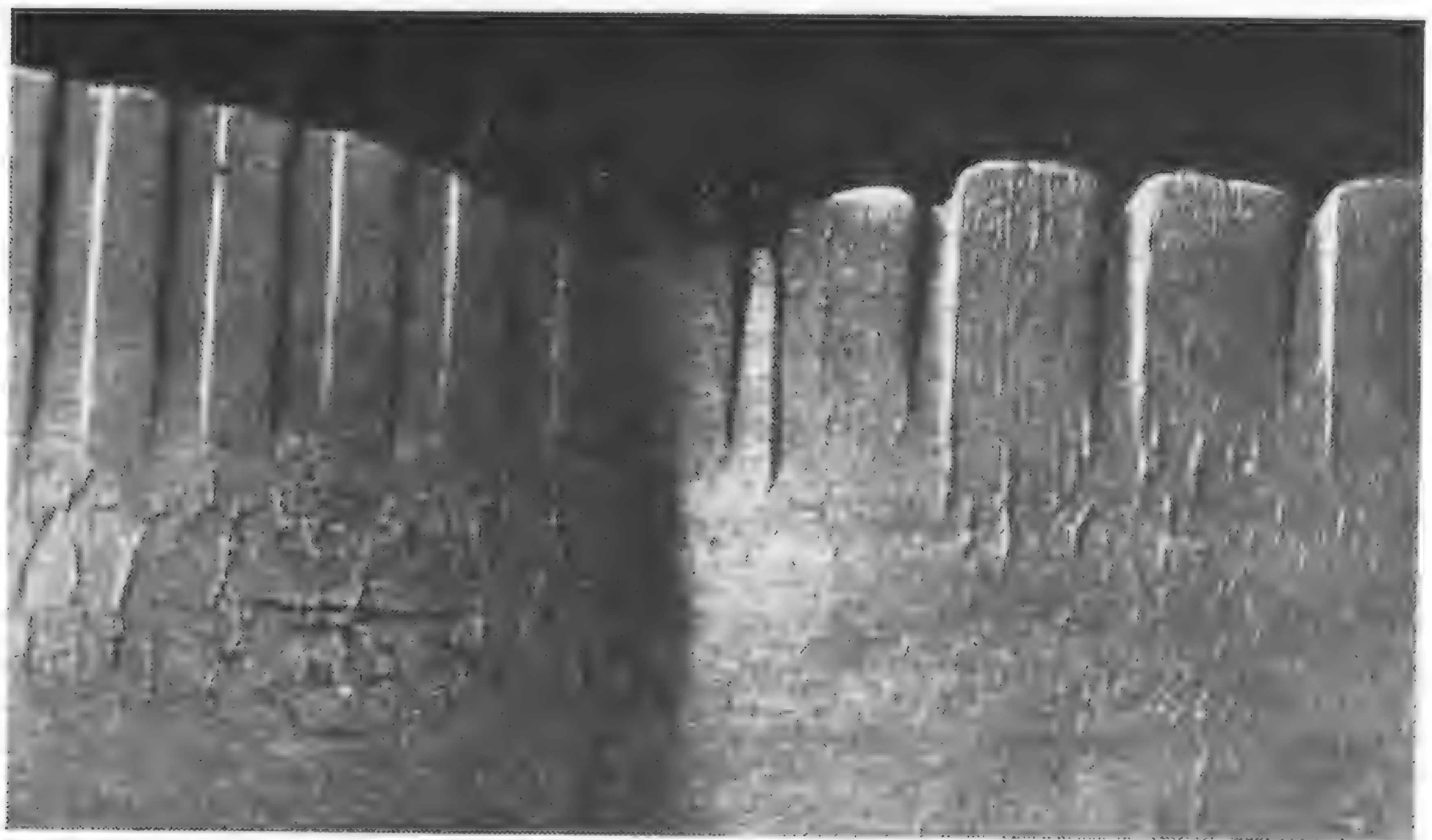
Перейдем теперь к рассмотрению тех условий, в которые ставится металл у поверхности канала орудия во время выстрела.

При воспламенении заряда в канале орудия образуется чрезвычайно сгущенная газовая атмосфера, которую можно назвать огненной жидкостью, принимая во внимание ее большую плотность, близкую к плотности самого пороха, и очень высокую температуру (до 2000° и выше). Такая раскаленная жидкость, при давлении в несколько тысяч атмосфер, плотно прилегающая к стенкам канала, быстро нагревает поверхностный слой металла до высокой температуры, причем толщина такого нагретого слоя вследствие кратковременности нагревающего действия газов будет очень незначительна и выразится лишь в десятых или сотых долях миллиметра. После выстрела наступают обратные условия: давление и температура газов падают, нагревание прекращается, взамен того наступает быстрое понижение температуры нагретого слоя вследствие охлаждающего действия всей остальной холодной массы тела орудия. Таким образом, при повторении выстрела тонкий слой поверхности канала подвергается попеременно: то очень быстрому нагреванию до высокой температуры, то очень быстрому охлаждению до температуры тела орудия.

Останавливаясь над исследованием тех изменений, какие должны происходить в вышеуказанном тонком слое металла под влиянием таких



Начальные стадии выгорания

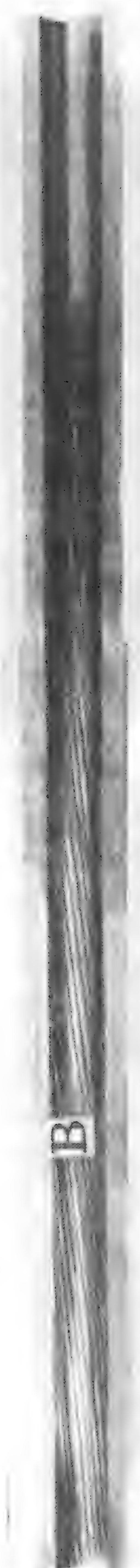


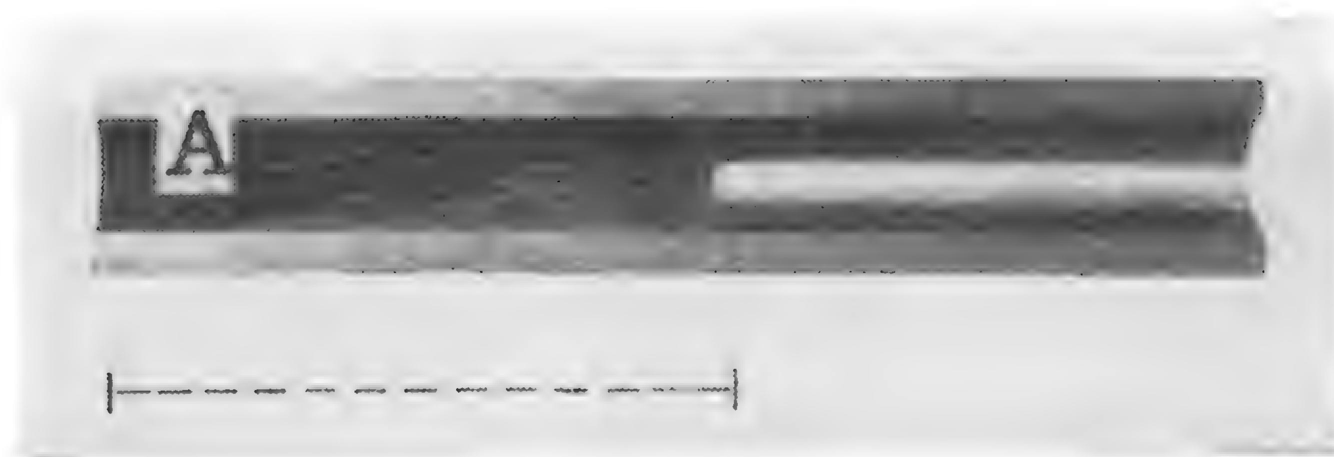
11-дюймовое орудие 9-дюймовое орудие

Таблица IV









Отметками |————| обозначены места, изображенные на фотограммах C и D в натуральную величину



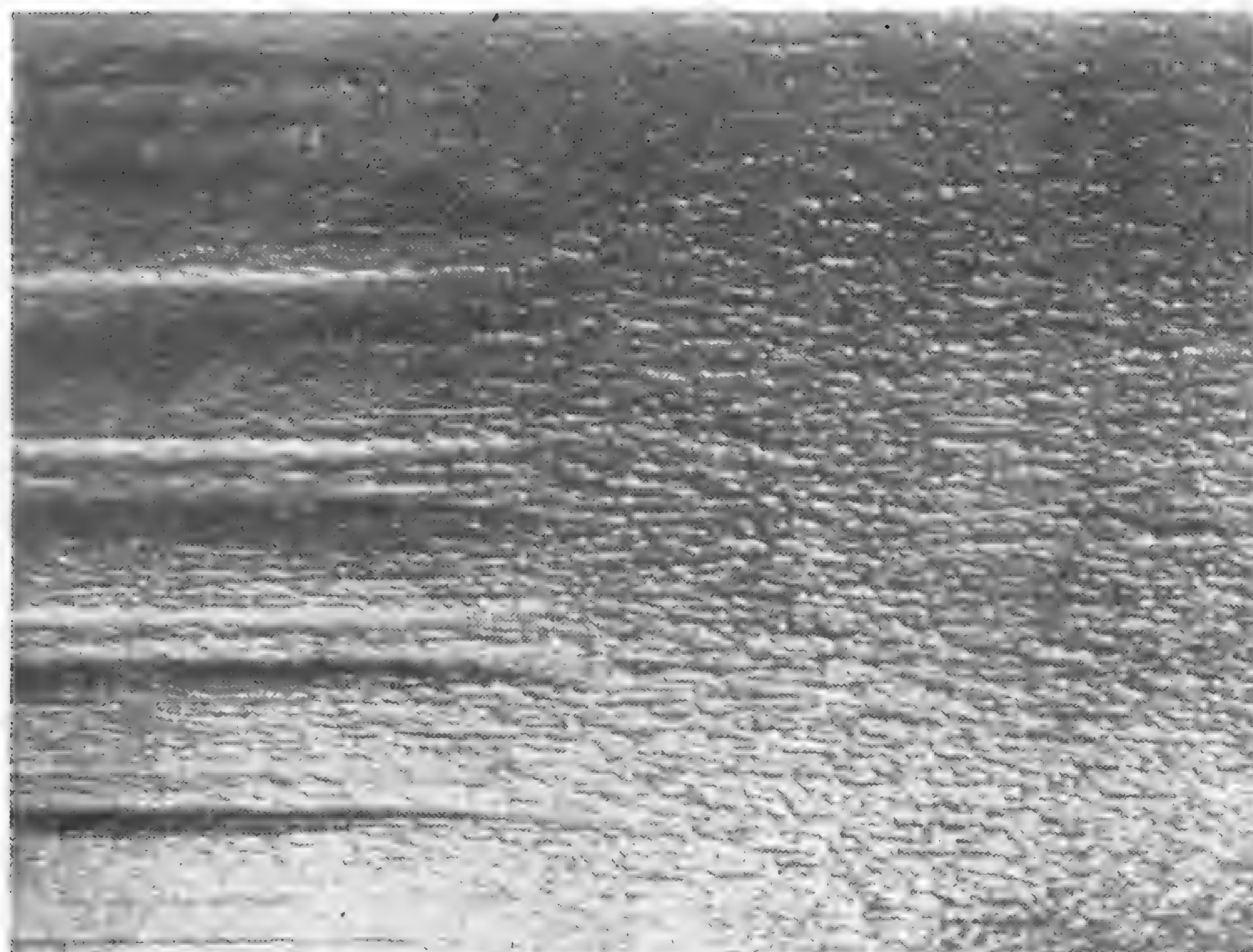


Потрескавшийся лак на старой мебели

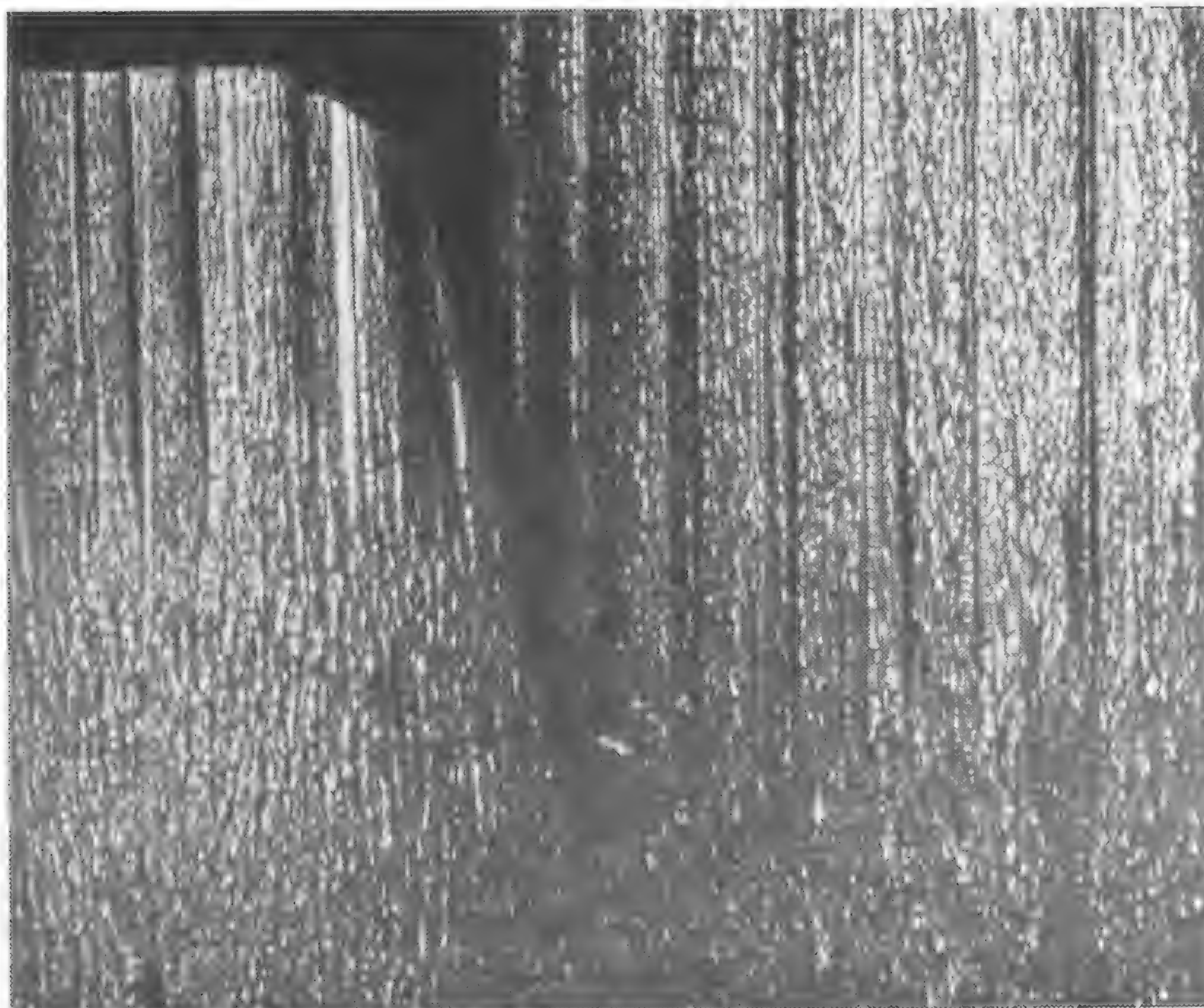


Оконечность палочки китайской туши после растирания с водою (увеличено в 2 $^1/_2$ раза)

Таблица IV (окончание)



Слепок с 6″-орудия после 400 выстрелов



Два слепка с 6″-орудия после 500 выстрелов

перемен температуры, мы встречаемся на первом плане с сопутствующими им явлениями расширения и сжатия объема металла.

Для большей ясности анализа разделим стенку орудия на отдельные клинообразные элементы (фиг. 7 и 8) *a*, *a*, *a*, . . . *b*, *b*, *b*, . . ., ограниченные поперечными (параллельными) и продольными (радиальными) плоскостями. Возьмем сначала один из этих элементов в отдельности (фиг. 9) и проследим изменение его формы при расширении и сжатии в продольном сечении, т. е. в проекции, соответствующей фиг. 7. Если он подвергнется быстрому и сильному нагреванию, начиная с верхней площадки *cc* его верхнего конца, на глубину *cf*, то распределение температур в различных расстояниях от верхней площадки можно представить графически кривою *fd*, причем соответствующее расширение конца элемента можно изобразить пунктирною линиею *fc'c'f*. По прекращении притока теплоты температура конца элемента будет быстро понижаться вследствие отдачи теплоты холодному телу элемента. Так как масса нагревшегося слоя и количество заключающейся в ней теплоты представляются ничтожными по отношению к массе и к тепловой емкости всего тела элемента, то можно вполне пренебречь нагреванием тела элемента в конце наступившего охлаждения, т. е. можно принять, что наш элемент возвратился вполне в свой первоначальный вид, какой он имел до нагревания, т. е. из *fc'c'f* войдет опять в первоначальное очертание *fccf*.

Совсем в другом виде представится расширение и сжатие в том случае, когда элементы не свободны. Рассмотрим такой случай для той же проекции, соответствующей продольному разрезу. На фиг. 10 изображена группа элементов *a*, *a*, *a*, . . ., плотно прилегающих один к другому и мешающих свободному расширению их объема в стороны. При нагревании концов элементов все соответственное увеличение их объема может совершиться только в одном направлении — нормальном к их верхней площадке, и для каждого элемента вид нагретого конца будет лишь удлиненным (фиг. 11), с сохранением ширины холодного элемента; точки *c*, *c* переместятся по прямому направлению в точки *c''*, *c''*, причем весь расширенный от нагревания объем *fc'c'f* при *несвободном* элементе должен вместиться между точками *fc''c''f*, т. е. *должен принудительно спрессоваться или сковаться*, получая постоянную пластическую деформацию. Таким образом, для сплошного ряда элементов *a*, *a*, *a*. . . получается нагретый слой толщиною *c''c''ff* (фиг. 12) с распределением температур, подобным тому, как мы имели на фиг. 9.

При рассмотрении *объемных* изменений, связанных с охлаждением этих деформированных элементов, необходимо иметь в виду, что каждый из них, взятый в отдельности, имеет в нагретом состоянии прямую призматическую форму, как изображено сплошными линиями на фиг. 13. После охлаждения и соответственного сжатия очертание элемента представится в таком виде, как показано пунктирными линиями: точки *f*, *f*, останутся на прежнем месте, точки *c''*, *c''* переместятся в *c'''*, *c'''*, *не возвращаясь в прежнее положение c,c*, так как конец элемента был спрессован и вытянут при нагревании; площадка *c'''c'''* останется несколько приподнятою, причем объем *fc'''c'''f* будет равен первоначальному, подвергавшемуся

нагреванию, объему $fccf$. Вся совокупность вместе сложенных элементов после охлаждения представится, как обозначено на фиг. 14. В том случае, когда смежные элементы a, a . . . составляют *одно сплошное тело*, охлаждение слоя $c''c''ff$ (фиг. 12) *должно привести к образованию трещин на его поверхности, если материал не обладает полною пластичностью.*

Рассмотрим теперь те же явления при нагревании и охлаждении элементов b в проекции по фиг. 8. Главнейшее отличие здесь заключается в том, что вследствие радиального наклона боковых граней элементов концы их при расширении от нагревания подвергаются еще большему стеснению, нежели по проекции фиг. 7, так как не только не сохраняют своей первоначальной ширины, как это было в предыдущем случае, но должны еще сжиматься в дугу меньшего радиуса, оставаясь в том же углу (см. фиг. 15), а при охлаждении, для возвращения на прежнее место, должны были бы расширяться в дугу большего радиуса (см. фиг. 16). Вследствие этого последнего обстоятельства расстояния между охладившимися концами элементов на фиг. 17 оказываются еще более значительными, нежели на фиг. 14, т. е. трещины в случае сплошного тела здесь будут большей ширины и пойдут на большую глубину.

Отсюда видно, что для гладкой *вогнутой цилиндрической поверхности* канала, при повторном быстром нагревании и охлаждении, следует ожидать *образования несколько более развитых и глубоких трещин в продольном направлении, нежели в поперечном.* Из предыдущего также видно, что причины, обусловливающие такое неравенство, действуют *тем более рельефно, чем меньше диаметр* канала. Во всяком случае, совокупность причин, действующих по обоим направлениям, ведет к образованию сети трещин, о чем было сказано в самом начале настоящего сообщения.

Обращаясь к явлениям, имеющим место в каналах с нарезами, мы встречаем здесь совокупность всех трех рассмотренных выше случаев, а именно: 1) свободно расширяющегося и сжимающегося элемента, 2) ряда элементов, расположенных по производящей цилиндра, и 3) ряда элементов по окружности.

В самом деле, *в продольном сечении* нарезанного канала мы имеем случай на фиг. 14; *поперечное же сечение* (схема фиг. 18) представляет: по дну нарезов — случай фиг. 17-й, а по оставшимся полям — случай свободного элемента на фиг. 9. Что касается дна нарезов, то для него остается в силе и в той же мере все то, что относится до гладкого цилиндрического канала. Для поля же существенная разница заключается в том, что, представляя собой сравнительно узкое (тонкое) выдающееся ребро, с трех сторон омываемое горящими газами, оно успевает нагреваться, вообще, сильнее дна нареза, в особенности на ребрах, где, например, для массы m (см. схему фиг. 19, на поле *1*), находящейся на диагонали, приходится вдвое большая поверхность нагрева, нежели для массы m' или для m'' (на поле *2*), причем изотермы при максимуме нагрева расположатся по пунктирным линиям, отдаляясь от выступающих углов c и приближаясь к входящим углам d. Вследствие высокой температуры нагрева полей, в особенности их ребер, они получают более глубокие трещины, притом на узких полях — почти исключительно поперечные, так как *по направ-*

лению ширины полей расширение и сжатие происходят тем свободнее, чем более узко поле и, следовательно, *чем ближе в его поперечном сечении оно подходит к рассмотренному выше случаю свободного элемента*. Такие поперечные трещины на полях и служат главнейшею причиною полного срывания полей, о котором было сказано в самом начале сообщения и которое ясно видно на фотограмме выгорания 3-<дюймовой> пушки в натуральную величину (см. фотогр<амму> D, табл. IV)[4].

В малокалиберном скорострельном оружии, в особенности в пулеметах, приток теплоты к стенкам канала идет так быстро, что поверхностный слой металла нагревается выше точки плавления и буквально смывается быстро движущимися газами. Разгоревший канал представляется тогда в виде изборожденной гладкими *продольными морщинами* поверхности, причем даже незаметно поперечных трещинок, так как слой металла, в котором они могли бы оставаться, расплавляется и смывается; рельефнее всего это видно на разгоревших запальных стержнях.

Для более полной законченности исследования занимающего нас вопроса считаю весьма полезным остановиться на некоторых других случаях разрушения металлических предметов с их поверхности, когда последняя ставится в аналогичные со стенками канала орудия условия.

В заводской практике такое явление весьма обыденно при горячем штамповании заготовок различных фасонных железных или стальных поковок в стальных штампах. При такой работе заготовка в раскаленном состоянии вкладывается в нижнюю половину штампа (басму), потом накладывается верхняя половина штампа и дается сильный удар молотом; сняв затем верхний штамп, выбрасывают отштампованный предмет, обливают водой штамп для его охлаждения и тотчас штампуют следующую заготовку и т. д. После некоторого числа штампований на внутренней поверхности штампа появляется сеть трещинок, подобная сети в канале орудия; постепенно увеличиваясь с каждым следующим штампованием, она развивается и углубляется до того, что, наконец, штампы дают очень негладкие и неровные отпечатки и заменяются новыми. При этом замечается большое разнообразие в степени выносливости и продолжительности службы штампов. Так, из числа штампов, приготовленных, по-видимому, совсем одинаково, из одинакового сорта материала, при средней выносливости около 1500 штамповок, некоторые экземпляры выдерживают до 5000 штампований[5]. Подобно этому, и в стальных орудиях замечается

---

[4] В этом отношении, казалось бы, выгоднее оставлять более широкие поля и суживать нарезы, скругляя острые ребра и приближая их к очертанию изотерм.

[5] Считаю необходимым заметить, что при холодной штамповке, например в монетном и медальном деле, на поверхности штемпеля не появляется сетки трещин, но, смотря по степени закалки и отпускания штемпеля, он более или менее сминается (садится) или же лопается от сильных внутренних натяжений. Разнообразие в стойкости штемпелей очень наглядно показывает чрезвычайно большую чувствительность стали к различным оттенкам в приемах при ее обработке. Так, при чеканке серебряной монеты штемпелями, изготовленными из стали одной и той же фирмы, с применением, по-видимому, одних и тех же приемов при закалке и отпускании, замечаются очень большие колебания в сроках службы штемпелей для одного и того же сорта монеты. При средней стойкости около 5000—7000 оттисков некоторые штемпеля выстаивают

большое разнообразие в стойкости против выгорания, в особенности в орудиях крупных калибров. Бывают случаи, что после 100 боевых выстрелов дальнейшая стрельба становится уже неправильною и даже опасною вследствие больших разрушений в канале.

В совершенно подобных же условиях находится поверхность прокатных вальцов. Каждый элемент m поверхности вальца (фиг. 20) во время каждого оборота проходит через положения m', m'', m''' и подвергается попеременному действию температуры и давления в следующем порядке. В положении m поверхность имеет температуру, почти одинаковую с телом вальца; в положении m' элемент подвергается быстрому нагреванию от раскаленного вальцуемого тела a, на которое в этом пункте валец производит наибольшее давление; в области m'' происходит передача теплоты от поверхности к телу вала; в области m''' поверхность вальца охлаждается водою ниже температуры тела вала. Такая смена положений происходит в каждый оборот, по очереди, для всякого элемента поверхности вальца. Очевидно, здесь условия в качественном отношении, т. е. в смысле быстроты перемен температур и давлений, тождественны с условиями для поверхности канала орудий. Но так как здесь нет того движения газов, пороховых частиц и снарядов, как это имеет место для канала орудий, то характер разрушений в данном случае для поверхности вальца, равно как и для поверхности штампа, должен совпадать с видом разрушения в тех местах канала, где нет или почти нет быстрого тока газов. На самом деле так и есть — стоит сравнить фотограммы E и F, из которых первая представляет поверхность чугунного листокатального вальца, *в натуральную величину*, а вторая представляет *увеличенный около* $2^1/_4$ *раза* снимок поверхности канала орудия с фотограммы C у начала нарезов. Близ конца гильзы нет следов механического истирания, так как в этом месте скорость газов очень мала. Сходство поразительное: как на одной, так и на другой поверхности сетка представляет три градации петлей, в последовательном порядке их происхождения: первого порядка (толстые линии) — самые широкие петли, в них размещаются петли второго порядка (линии средней толщины) и, наконец, третьего порядка (самые тонкие линии) — самые мелкие петли, включающие уже неделимые элементы.

Нельзя не обратить внимания на то обстоятельство, что хотя при конце гильзы и у начала нарезов надо предполагать наивысшую температуру пороховых газов, однако при недостаточно быстрой здесь циркуляции их около охлаждающей их поверхности канала передача теплоты стенкам орудия в этом месте значительно замедляется вследствие понижения температуры непосредственно прилегающего к металлу слоя газов. Очевидно, что чем быстрее сменяется охлаждающийся около стенок газ свежим притоком горячих газов, тем быстрее его нагревающее действие, так как тогда температура самого тонкого поверхностного слоя металла будет неизменно поддерживаться на высоте температуры притекающего газа, и в тех поясах, где это будет иметь место, передача теплоты будет наибольшая, хотя

только 1000 и менее, а другие служат до нескольких десятков тысяч отпечатков; наконец, в моем распоряжении имеется штемпель, выдержавший 120 000 штамповок.

бы температура газового потока здесь была несколько ниже, нежели при медленной циркуляции. Таким образом, наибольшая интенсивность передачи теплоты должна быть в том месте канала, где сложная функция F от температуры газов, их плотности, теплоемкости, давления и скорости, выражающая интенсивность передачи теплоты телу орудия, будет иметь наибольшее значение. Так как каждое из входящих в эту функцию переменных может быть выражено в функции от расстояния x от начала или от конца зарядной камеры, то $x_{\max}F$ покажет тот пояс, где будет для каждого частного случая место наибольшего развития сети трещин на стенках канала. Далее этого пояса интенсивность нагревания будет довольно быстро уменьшаться вследствие понижения температуры газов от их расширения и от охлаждающего влияния более холодной дульной половины канала. Вместе с тем ясно, что и максимум механического разрушения канала должен совпадать с тем же поясом, т. е. с максимумом развития трещин.

Это последнее заключение наглядно подтверждается тем, что в дульной части орудия, где уже нет трещин, канал с его нарезами и полями остается неповрежденным, несмотря на то что именно в дульном конце орудия газы и снаряды имеют наибольшую скорость, и здесь можно было бы ожидать наибольшего изнашивания канала.

Отсюда видно, что мнение о преобладающем влиянии механического действия газов и снаряда на стенки канала совершенно несостоятельно. Что касается химического действия газов, то надо признать, что при современных сортах пороха, не содержащих вредных для стали элементов, оно не может иметь сколько-нибудь серьезного значения. Главная, основная причина зла лежит в высокой температуре горения пороха; *понижение ее становится решительно необходимым*. Задача химиков в этом вопросе сводится к отысканию такого состава пороха (или такой смеси для него), при котором, *без ущерба его баллистическим качествам*, *температура продуктов его газификации (или горения) по возможности не превышала бы 1000° Цельсия*.

С другой стороны, задача металлургов должна состоять в отыскании такого металла, который, *без ущерба его механическим качествам*, обладал бы *возможно большею пластичностью и вязкостью*, дабы при большом расширении и следующем затем большом сжатии не давал ни малейших следов трещин [6]. Так как это последнее обстоятельство связано с величиною коэффициента расширения металла, то было бы, безусловно, целесообразно, хотя бы только для внутренней трубы орудия, выбирать металл с наименьшим коэффициентом расширения, по крайней мере, таким, при котором *наибольшее расширение металла от нагревания при выстреле не выходило бы за пределы его упругих деформаций*.

Вот те три пути к совершенному избавлению каналов орудий от раз-

---

[6] С давних пор опыт показал, что твердый металл скорее дает трещины и разрушается от выгорания, нежели мягкий, и что в этом отношении чистая медь дает наилучшие результаты, почему она преимущественно и употреблялась на изготовление запальных стержней.

рушений, называемых *выгоранием*. Первый путь — главный и, во всяком случае, *настоятельно необходимый*.

Пользуясь настоящим случаем, я укажу на общность появления сетки трещин при сжатии поверхностных слоев различного рода материалов при их усыхании. Так, поверхность сырого разбухшего куска глины растрескивается при быстром ее высыхании, давая целую сеть трещин. Такая же сетка трещин замечается при усыхании лака на старой картине или на старинной мебели; китайская тушь (в плитках или палочках), после смачивания при растирании с водою, на обсохших местах плитки получает сетку трещин и т. п. Все эти явления, очевидно, одного рода. Приложенные фотограммы, снятые с картинного лака и китайской туши, по существу, не отличаются от снимков со стали и чугуна.

Что касается вида сетки, ее рисунка и величины петель, то вообще можно сказать, что *чем толще поверхностный слой, подвергающийся объемным изменениям*, тем крупнее трещины, фигура же петель находится в некоторой зависимости от природы самого материала.

На этом я заканчиваю, так как дальнейшие подробности уже выходят из рамок настоящей задачи.

7

О ТОЧКЕ *b* ЧЕРНОВА [1*]

(Доклад, читанный Д. К. Черновым на II Всероссийском съезде деятелей по горному делу, металлургии и машиностроению 17 апреля 1913 г.)

В апреле 1868 г. в и<мп>. Русск<ом> технич<еском> обществе я делал свой первый доклад об обработке стали на Обуховском заводе для артиллерийских орудий. Требования, предъявляемые к этим орудиям, очень высоки, с одной стороны, потому, чтобы обеспечить безопасность прислуги, работающей около орудия, а с другой стороны — чтобы дать заказчику полную гарантию однородности всей партии орудий. Важнейшее требование заключалось в достижении максимума разрывного усилия для материала орудия. Вначале вопрос о надлежащей обработке стали с целью сообщения ей максимума прочности оставался совершенно невыясненным, и мне приходилось вырабатывать метод обработки, но зато обработка сварочного металла стояла уже на высокой ступени развития, так что из него получали хороший материал. Генерал Обухов [2*] умел хорошо лить тигельную сталь, но обрабатывать ее не умел. Обработка стали по идеям ген. Обухова была неправильна. Это видно из того, что целые партии орудий, изготовленные по утвержденному способу обработки и чертежам, оказывались негодными, выдерживая пробу с легким зарядом и разрываясь при пробе с немного более тяжелым зарядом. При этом совершенно не знали причины таких явлений брака материала. Мне пришлось заняться этим вопросом единолично, так как идеи ген. Обухова были недостаточно ясны и неверны, а помощники были полуобразованные мастера, которые

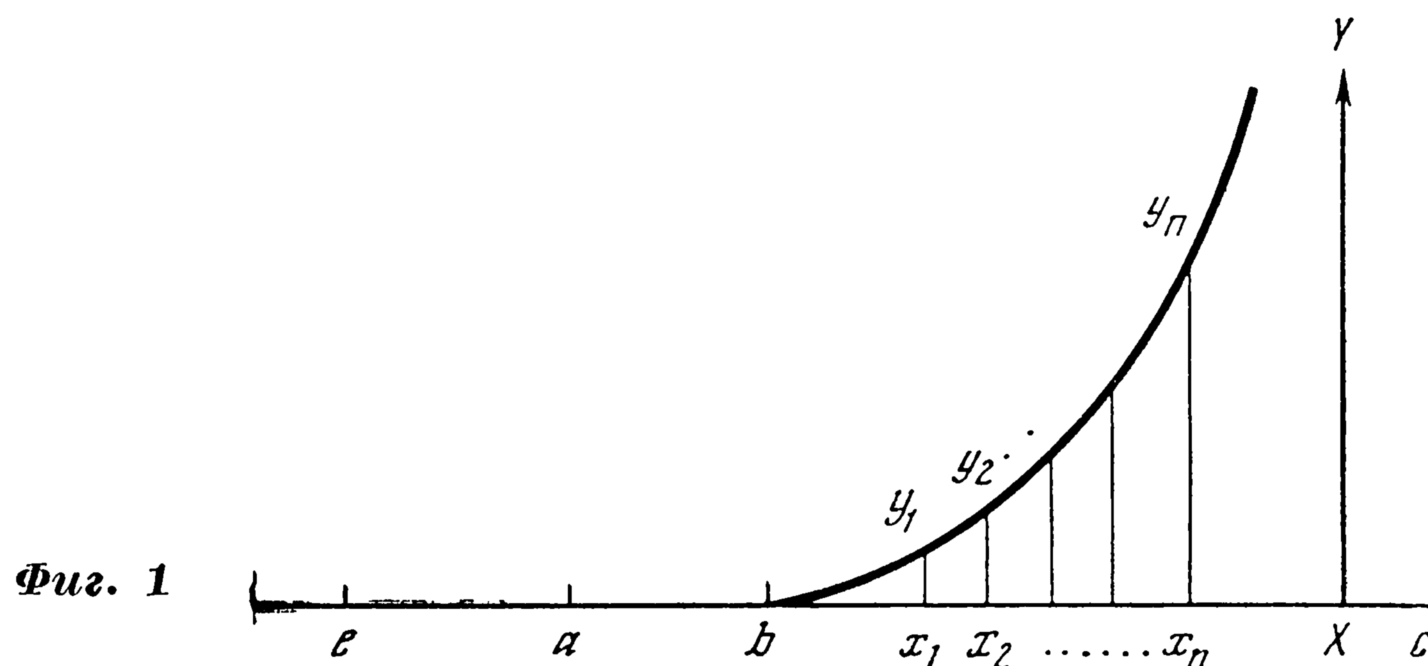
с большим недоверием относились к моим распоряжениям. Таким образом, когда ковка продолжалась до четырех суток с перерывами, а нагрев до 4 часов, то при обработке одного орудия приходилось часто проводить бессонные ночи. На исследование меня натолкнули изменения структуры изломов разных орудий. До этого времени только Сорби [3*] наблюдал метеорное железо и исследовал его структуру. Я начал наблюдать шлифы, приготовленные из дула орудий, под микроскопом и разрывы орудий, т. е. структуру изломов в месте разрыва, — с помощью лупы. Эти изломы были весьма различны по своей структуре. Наблюдая изломы и разрывы стали, делал я сопоставления крупности зерна с механической прочностью, причем было установлено, что разрывное усилие должно быть приложено к стали с мелкой структурою большее, чем к стали с крупною структурою. Получив такой результат, я стал искать причину приобретения сталью мелкой структуры и вместе с тем лучших ее механических свойств.

Опыты велись следующим образом. Брался брусок стали и вырезались из разных его частей пробы для определения механических свойств. Так как при ковке металл предварительно нагревается, то, чтобы исключить влияние температуры и определить только действие механической обработки, пробный брусок ковался быстрыми ударами тяжелого молота до разной толщины в различных частях по длине. При этом разницы в температуре концов не было. Структура исследовалась лупою, и я не обнаружил никакого различия в сложении металла во всех сечениях. Попутно я нашел, что не происходит и уплотнения стали, так как удельный вес материала во всех частях прокованного слитка был одинаков. Потом я производил точно такую же ковку, но только при разных температурах. При этом получилась большая разница в структуре, видимая легко с помощью лупы. Из этих опытов я заключил, что изменения в структуре стали нужно отнести к влиянию температуры, но не к собственно механической обработке. Тут же я установил, что это изменение структуры происходит не при всякой температуре, но при некоторой определенной температуре, для каждого сорта стали различной. Передо мной теперь стояла задача найти эти температуры для каждого сорта стали.

Последующими опытами было установлено, что уменьшение плоскостей излома не происходит ниже определенной температуры, причем эта температура своя для каждого сорта стали. Эту критическую температурную точку и назвал я точкой b. При нагреве стали ниже этой точки изменения в структуре не происходит, а при нагреве немного выше ее происходит заметное изменение сложения стали. Нагрев должен быть *немного* выше потому, что весь брусок должен оказаться прогретым равномерно. При этом структура стали почти *аморфна*. Температура, соответствующая точке b, равна 750° Ц. Так как при такой температуре сталь трудно ковать, то нагрев ведут всегда до более высокой температуры, и при этом происходит увеличение структурных элементов во время охлаждения металла. Если мы сталь будем нагревать все выше и выше, то при некоторой температуре наступит критическое состояние, характеризующееся тем, что сталь рассыпается, образуя крупные полиэдры, наконец, при еще более высокой температуре наступит плавление стали. Чтобы получить выра-

жение зависимости от температуры степени грубения зерна, я предлагаю по оси ординат отлагать интенсивность кристаллизации, а не крупность кристаллов, как думают некоторые. Интенсивностью кристаллизации я называю свойство стали при нагреве ее выше точки b развивать зерно в зависимости от быстроты охлаждения. Таким образом, это свойство развивается во времени. Чем больше продолжительность охлаждения, чем дольше мы идем по кривой охлаждения, тем большего развития достигает

Фиг. 1



интенсивность кристаллизации. Так как развитие кристаллов зависит не от температуры, а от времени, то мы с низшей температуры, идя медленно, получили более крупные кристаллы, чем с высшей, идя быстро по кривой охлаждения. Чтобы получить одинаковую структуру, охлаждая сталь с разных температур выше точки b, нужно, чтобы каждой температуре x_n (на оси абсцисс) соответствовало свое время охлаждения, взятое из данной кривой и равное $1/y_n$. Тогда, например, для температуры x_1 найдется по кривой соответствующее время $1/y_1$ и т. д. <см. фиг. 1>.

Теперь объясним характер критической температуры, при которой сталь рассыпается. Это точка, обозначаемая мною буквою X, при каковой температуре никакою скоростью охлаждения нельзя получить в стали аморфную структуру, т. е. ордината этой точки асимптотически приближается к нашей кривой. Исследование я производил над сталью со средним содержанием 0,55—0,6% С. Нагрев ее определялся по цвету каления, так как в то время не было еще точных пирометров. Первый прибор для измерения высоких температур был предложен Румкорфом; это был термоэлектрический пирометр Беккереля-младшего, послуживший прототипом известному пирометру Ле Шателье [4*]. У Беккереля «пару» пирометра составляли проволоки из палладия и платины. Прибор был очень непостоянен, быстро портился от высоких температур и, кроме того, не был точен, так как наблюдались непосредственные отклонения, а не отклонения светового зайчика на особой шкале, как у Ле Шателье. Таким образом, температуру приходилось определять на глаз — это была температура *красного, неблестящего каления*. При определении точки b была также найдена и другая особенная точка a, которая характеризуется тем, что сталь, нагретая ниже температуры, соответствующей этой точке, не при-

нимает закалки, но, наоборот, твердая сталь при таком нагреве становится мягче и делается удобной для *ковки*.

Таким образом, этими опытами были установлены следующие характерные для стали точки: *a*, *b* и *X*, причем эти точки, как оказалось, не имеют постоянного места, но передвигаются по шкале температур при изменении содержания углерода <см. фиг. 1 и фиг. I на стр. 165>. Чтобы выяснить характер перемещения этих точек в зависимости от содержания C, мною были произведены опыты их определения для сплавов железа с углеродом с повышающимся содержанием C от 0,4 до 1,0% через одну десятую процента, а также и для чистого железа, почти не содержащего углерода. Кривая, характеризующая точку плавления, обозначенную мной буквой *C*, удаляется от оси ординат в случае чистого железа и приближается к последней с увеличением содержания углерода в сплаве. Линия *X*, характеризующая явление рассыпания при ковке, приближается по мере увеличения содержания углерода в стали к точке *b*, для случая же уменьшения содержания углерода приближается к линии *C*. Между линиями *C* и *X* сталь становится хрупкой и может рассыпаться при ударе. Точка *b* движется, подобно предыдущим, с той лишь разницей, что при меньшем содержании углерода в стали движение этой точки идет быстрее, и более замедленным темпом — с увеличением содержания углерода в стали. Наконец, точка *a* движется все время с малою скоростью, и при содержании углерода, равном 1,0%, линии перемещения точек *a* и *b* сливаются совершенно. Это показал точными измерениями Осмонд в 1884—1885 гг. Им же была указана еще линия, расположенная между *a* и *b*, обозначающая путь найденной им критической точки Ar_2. Точки же *a* и *b* Осмонд назвал точками Ar_1 и Ar_3. Если мы теперь продолжим наши отрезки кривых до 2,0% углерода, т. е. до теоретической границы стали, и нанесем те же кривые на диаграмму, в которой по абсциссе расположены проценты содержания углерода, а по ординате — температуры, то получим кривые в том виде, в каком они были даны Розебомом <см. фиг. II, стр. 165> [5*].

Теперь определим, что представляет собою точка *b*. Относительно точки *a* нет сомнений — это критическая точка *закалки*. Но что же такое точка *b*? Зная ее, мы имеем критерий, пользуясь которым, можно изготовить орудие с максимумом предела упругости материала. Для подтверждения вышеизложенного был произведен следующий опыт: два стальных орудия были нагреты до температуры, несколько высшей, чем точка *b*, закалены с отпуском в масле и потом охлаждались в мусоре. Производились испытания с переменным зарядом: сначала 20 выстрелов с зарядом 2 фунта, 26 выстрелов с зарядом по 3 фунта, 20 выстрелов с зарядом 4 фунта. И, наконец, заложили заряд в 4 фунта и 2 ядра; после такой «зверской» пробы внутренний диаметр орудия увеличился всего лишь на 4 «точки», т. е. на 0,04 дюйма. Проба эта, по словам Гадолина, «ужасна». На этих испытаниях орудий, взятых из партии, перед тем забракованной из-за своих скверных качеств, я мог воочию показать, что такое точка *b*!

Теоретическое объяснение этой точки следующее. Кристаллы, как известно, легко колются по плоскостям спайности. Чем крупнее кристаллы,

тем резче выгранены в них эти плоскости и тем легче происходит по ним излом. Отсюда вывод — чем мельче кристаллы, из которых сложена сталь, тем однороднее и лучше в механическом отношении изделие. Трудно, конечно, судить о том, чем вызывается это явление, ибо мы не знаем, каковы силы, действующие между частицами. Можно сказать только одно, — что кристаллы обладают разными свойствами по различным направлениям, а потому при нагревании они расширяются неравномерно по разным направлениям; частицы, наиболее сближенные, расширяются быстрее, а менее сближенные — медленнее. В результате частицы стремятся занять такое положение, чтобы расстояния между ними по всем направлениям были одинаковые; когда такое состояние наступает, должны исчезнуть характерные особенности тела кристаллического, и в результате получается тело *аморфное*. Если теперь тело, перешедшее при нагревании в аморфное состояние, будет остывать, то начнет происходить снова кристаллизация около некоторых центров — осей кристаллизации. И если такой центр в каком-либо месте зародился, то все ближайшие молекулы располагаются в известном порядке относительно него, и тогда произойдет образование кристаллической структуры. Таким образом, если возникнут центры кристаллизации и благоприятные условия роста для кристаллов, то крупная кристаллическая структура разовьется неминуемо. Если же центров кристаллизации нет и условия неблагоприятны для образования их, то не будет крупных кристаллов, а будут только микроскопические. Итак, если мы приведем тело в аморфное состояние, то даже без всякого внешнего воздействия сами молекулы образуют центры кристаллизации, при охлаждении около которых при благоприятных условиях начнется строение крупных кристаллических групп. При этом имеет место такое явление, что более значительные кристаллы поглощают меньшие, присоединяя их к себе и ориентируя по своим осям.

Из моих опытов со сталью я вывел следующее. Если нагрев довести до точки b, то получится аморфная структура, если же не дойти до точки b, а остановиться при немного низшей температуре, то останутся неразрушенными старые центры кристаллизации, которые при последующем охлаждении явятся осями, около которых будет происходить группировка частиц. Если же при нагревании мы перейдем значительно за точку b, то частицы раздвинутся сильно, получится легкая возможность им перемещаться, и тогда благодаря большой подвижности их при остывании частицы опять легко будут группироваться около своих центров кристаллизации. При этом развитие кристаллов будет представлять функцию времени: чем медленнее остывание, тем крупнее кристаллы. Точно так же и количество центров кристаллизации зависит от скорости охлаждения, находясь с нею в прямой зависимости, т. е. чем больше скорость охлаждения, тем больше будет образовываться и центров кристаллизации.

Таковы те положения, которые установил я. Осмонд внес в эту простую и ясную область путаницу тем, что все точки a, b и промежуточную между ними он назвал A_1, A_2 и A_3, обозначая одним и тем же знаком разные свойства. Кроме того, он неправильно понял и принял точку b, отнеся ее к точке X.

8

АФОРИЗМЫ ИЗ ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ [1*]

ПРЕДИСЛОВИЕ

Каждому из нас, следящих за успехами металлургической науки по текущей технической литературе, не могло оставаться незамеченным особенно частое появление научных исследований в области металлических сплавов. При этом особенное внимание уделяется вопросам, связанным с явлениями закалки и вообще тепловой обработки стали. Стремление дать возможно полное объяснение этих сложных и довольно темных явлений, несмотря на многочисленность опубликованных в последнее время очень интересных лабораторных работ, к сожалению, привело скорее к еще большему затемнению вопроса, нежели его разъяснению. С целью улучшения такого печального положения дела один из выдающихся деятелей на металлургическом поприще профессор Гарвардского университета (Cambridge, Massachusetts) Совер обратился (письмом от 27 июня 1914) с призывом ко многим лицам [2*], принимающим деятельное участие в разработке вышеуказанных вопросов, — дать, хотя бы в кратких словах, категорические ответы на нижеприведенные вопросы, с тем, чтобы, сопоставленные в таблицы, они могли бы быть совместно обсуждены и по возможности согласованы между собою.

Вопросы эти формулированы в следующих восьми пунктах:

1) Какое определение даете Вы аллотропии?

2) Какая причина, по Вашему мнению, вызывает термическую критическую точку A_2 в чистом железе?

3) В каком физико-химическом состоянии находится Fe между критическими точками A_2 и A_3?

4) В каком физико-химическом состоянии находятся сплавы Fe и C между точками A_2 и A_3, когда они раздельны?

5) В каком физико-химическом состоянии находятся сплавы Fe и C, быстро охлажденные от температур высших их критических точек A_3, A_{3-2} или A_{3-2-1}, и каким образом происходит такое состояние?

6) Почему закаленная сталь ферромагнитна?

7) Как Вы объясняете состояние аустенитовое или мартенситовое в некоторых сортах специальной стали после медленного охлаждения?

8) Которая из существующих теорий закалки стали, по Вашему мнению, наиболее удовлетворительно объясняет различные явления закалки?

Получив такое приглашение уже после объявления войны, когда наши почтовые сношения с внешним миром были сильно расстроены, я счел более удобным и соответствующим положению дела вместо категорических ответов на поставленные вопросы сделать несколько отрывистых сообщений в Русском металлургическом обществе под общим заглавием «Афоризмы из области металлургии стали», с тем, чтобы потом сделать сводку

всего сказанного в общей статье, которая в настоящем виде и представляет мой личный взгляд на положение вопроса о тепловой обработке стали в связи с явлениями закалки. . .

ДОКЛАД Д. К. ЧЕРНОВА РУССКОМУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ОБЩЕСТВУ, ПРОЧИТАННЫЙ В ЧЕТЫРЕХ ЗАСЕДАНИЯХ В ТЕЧЕНИЕ 1914—1915 гг.

Милостивые государи!

46 лет тому назад, в 1868 г., я выступил с моим первым сообщением о превращениях в структуре стали и о зависимости механических качеств этой последней от ее строения.

В те времена очень остро стоял вопрос об изготовлении стальных орудий.

В каком положении было сталепушечное дело в то время, можно видеть из следующего.

Начало изготовления орудий из литой стали относится к 50-м годам прошлого века. В 1855 г. была первая проба новых орудий завода Круппа на Парижской выставке. Однако первые стальные пушки были неудачны. На заводе Круппа не было еще выработано правильных оснований для изготовления орудий надлежащего качества. При учебной стрельбе часто случались разрывы пушек, совершенно неожиданные. В войну Пруссии с Австрией в 1866 г. много орудий разорвалось также без видимых недостатков. Наступил кризис вследствие недоверия к стали. Вернулись опять к бронзовым пушкам. В 1867 г. были произведены обширные опыты с заново проектированными бронзовыми 9-сантиметровыми пушками. Однако введение стальных орудий не остановилось: переменили затворы (как причину разрывов), и завод Круппа продолжал работать над усовершенствованием стальных орудий. Мы, в России, в то время также получали пушки большого калибра от Круппа.

Разрывы стальных пушек при учебной стрельбе меня заинтересовали. Я показал по исследовании излома, что структура стали в этом случае чрезвычайно неоднородна, так что разрывы мне казались совершенно естественными.

Когда появился перевод на иностранные языки моего доклада 1868 г. (сразу появилось несколько переводов), то данные мною правила обработки постепенно входили в практику многих заводов.

Вслед за моей работой стали появляться и другие теоретического характера. Первым выступил Осмонд. Он основал целлюлярную теорию — она всем известна. Я только укажу, что точкой отправления этого исследования послужили мысли и факты моего доклада. В дальнейшем появились и другие теории. Дело все более и более усложнялось, и в настоящее время выяснение подробностей разных теорий даже стало затруднительно. Я остановлюсь на некоторых пунктах моей теории. Целлюлярной и аллотропической теорий я не сторонник. Я должен сказать, что данные, кото-

рые были включены в моем первом докладе Техническому обществу, и те мысли, которые были выражены там, до сих пор встречают недостаточное понимание. Конечно, в этом моя вина. Я должен был гораздо раньше выступить в защиту своих идей, но при моих занятиях, да и в мои годы я не мог письменно изложить замечания и поправки к тем мыслям, которые были выставлены мною.

Я теперь могу признать, что мне недолго осталось быть среди вас, и мне хотелось бы высказать те соображения и те теоретические объяснения явлений, главным образом имеющих место в тепловой обработке стали, которые представляют самую важную сторону сталелитейного дела, чтобы не пропало даром то, о чем я столько лет думал. Вот с этой целью я выступаю перед вами. Я не могу составить какой-нибудь трактат с систематическим изложением всех тех мыслей, которые я желал бы сообщить, и потому я избрал гораздо более легкий способ — излагать отрывками, касаясь тех сторон, которые наиболее меня заставляли жалеть о том, что я не могу публично изложить и не могу мои мысли напечатать. Вот почему я прошу снисхождения, если мое изложение будет иметь характер отрывочных замечаний о тех или других сторонах обработки и ее теории.

Сначала я все-таки должен повторить те основные фактические данные, на которых можно строить не скажу теорию, а гипотезу. Без фактов нельзя ничего строить, это будет постройка без фундамента. Теперь уже так много произведено опытов для установления фактов, что они совершенно бесспорны. На объяснении этих фактов я хотел бы остановиться.

Сталь — самый важный металл между всеми другими металлами, к которым мы прибегаем для удовлетворения наших потребностей — промышленных и военных, потому что ни в каком другом металле мы не можем встретить таких высоких механических качеств, которые в настоящее время от металла требуются не только в артиллерии, но и в обыкновенном машиностроении. Ни один металл не обладает такими качествами, как сталь. Шутка сказать, можно делать такие заряды, которые дают давление чуть не до 3000 атмосфер. Орудия эти выдерживают и при достаточной длине ствола могут бросить снаряд на 30 верст, причем скорость полета снаряда может достичь 1000 метров в секунду. И средством от такой артиллерии может служить только броня из той же стали. Снаряды и броня ведут между собою борьбу. И как быстро все растет! Японская война показала, как разрушительно действует артиллерия с расстояния в 8 верст, а теперь уже приходится говорить о десятках верст. И броня, в свою очередь, делается такою, что никакой снаряд пробить ее не может. И все это дает нам сталь.

Когда мы исследуем металл на его прочность, мы берем брусок и подвергаем его разрыву на прессе. Что происходит, когда мы растягиваем брусок и разрываем? Какие силы удерживают те два куска, которые мы получаем при разрыве? Это действуют силы сцепления, междумолекулярные силы.

Теперь, что же оказывается? Мы видим, что для одного и того же по химическому составу материала напряжение, под которым происходит разрыв, меняется. Одна и та же сталь при некоторых условиях разрыва-

ется при усилиях, втрое, вчетверо более слабых. Если мы рассмотрим излом, то увидим, что изломы, несмотря на один и тот же химический состав, также будут различны.

Прочность металла зависит от вида излома: чем мелкозернистее излом, тем обыкновенно выше качество стали. Однако — берем ли мы сталь в кованом куске или в литом состоянии — излом всегда имеет вид тела кристаллического, с тою лишь разницею, что в одном случае кристаллы крупны, в другом — мельче. От чего зависит большая или меньшая кристалличность тела? Для выяснения этого необходимо было произвести наблюдения. В былые времена считали, что это зависит от ковки или прокатки самих по себе. На самом деле оказалось, что это не так. Сильно прокованный кусок или сильно прокатанный также могут обладать небольшою прочностью и крупной кристалличностью в изломе. Оказывается, что не в ковке или прокатке самих по себе здесь дело, а дело здесь главным образом в теплоте. Все эти пертурбации в строении стали объясняются теплотой, при которой сталь подвергается обработке.

Всем известна та диаграмма соотношения между строением, качеством и теплотой обработки. Я предупреждаю, что эта диаграмма сильно устарела. Вот как мною были выражены результаты наблюдений (см. диаграмму на фиг. 1) <стр. 135>.

Здесь мы видим точки *a* и *b* и точку плавления *c* и еще одну особенную точку, которую я называю точкой *X*. Что эти точки означают, мною уже не раз объяснялось и всем известно.

Точка *a* есть некоторая определенная температура, до которой нужно нагревать сталь, чтобы она потом получила закал. Если мы немного не догреем до этой температуры, то сталь не закалится, т. е. при быстром охлаждении не сделается твердой. Если же температура достигла точки *a* и было произведено быстрое охлаждение, то получается закал.

Точка *b* есть другая температура, при которой сталь получает какое-то внутреннее превращение в своей структуре. Если мы нагреем сталь выше этой точки, затем оставим обыкновенно охладиться и после этого сломаем, то строение излома не будет похоже на тот излом, который был раньше. А если мы не догреем сталь до этой точки, то при охлаждении не заметим изменения в структуре, т. е. какая структура была, такой она и останется. При нагревании все дальше и дальше, т. е. все выше и выше точки *b*, получаются все большие и большие изменения структуры, если охлаждать сталь после нагрева с одинаковой скоростью. Скорость охлаждения есть второй фактор. С одной стороны — высота температуры нагрева, а с другой — время охлаждения. Оба эти фактора, при увеличении их, действуют в одну сторону. При увеличении температуры и времени охлаждения получается более крупная кристалличность структуры.

Точка *X* отвечает температуре, при которой сталь делается хрупкой. Точка *c*, как сказано, отвечает температуре плавления.

Все почти явления, отвечающие этим точкам, были мною замечены впервые. При определении их я пользовался нагреванием стали в печах, дававших температуру меньшую, чем современные калильные печи.

На диаграмме (фиг. I) <см. стр. 165> взаимоотношения между всеми точками (a, b, X и c) схематически указаны для стали средней твердости (0,5—0,6% С), твердой (2% С) и совсем мягкой (железо). Для разных сортов стали, с разным содержанием углерода, расстояния между точками, как видим, изменяются: точки перемещаются то вправо, то влево с разной скоростью. В общем путь, который был мною замечен, при движении этих точек таков. С повышением содержания углерода точки c, X и b (точка a мало изменяется от содержания углерода) движутся влево, но не с одинаковой скоростью. Так, в малоуглеродистом железе точки c и X сливаются, но постепенно расходятся с увеличением углерода, когда точка X движется с большей скоростью, нежели точка c. В очень твердой стали точки a и b сливаются, постепенно расходясь с уменьшением в стали углерода: здесь точка b двигается с гораздо большею скоростью, нежели точка a, которая почти не изменяется.

Остановимся несколько на точке b. Для того чтобы наглядно выразить зависимость структуры стали от температуры нагрева, с одной стороны, и скорости охлаждения — с другой, я здесь (см. фиг. 1) <стр. 135> начерчу кривую с крутым подъемом. Каждой абсциссе этой кривой, т. е. каждой температуре нагрева x, x_2, x_3 . . ., лежащей выше точки b, отвечает своя ордината y_1, y_2, y_3. . ..

Я должен сказать, что эта кривая с самого начала была неправильно понята и у нас, и за границей, особенно в Англии. Проведенные мною ординаты y_1, y_2, y_3 . . . приняли за величины зерен, отвечающие температурам x_1, x_2, x_3 . . . На самом же деле эти ординаты отвечают не величинам зерен, а величинам, пропорциональным степени развития зерен, или интенсивности кристаллизации при температурах x_1, x_2, x_3. . .. Кристаллизация зависит от двух факторов: температуры нагрева и скорости охлаждения после нагрева. Если бы мы пожелали при разных температурах нагрева x_1, x_2, x_3 . . . получить одинаковую структуру, мы должны были бы с повышением температуры нагрева за точкой b соответственно увеличивать скорости охлаждения или, что все равно, соответственно уменьшать время охлаждения. С этой точки зрения ординаты y_1, y_2, y_3 . . . отвечают скоростям охлаждения, при которых нагрев до разных, отвечающих им, температур x_1, x_2, x_3 . . . приводит к одной и той же структуре.

Для температуры (точки) X ордината $Y=\infty$ (кривая асимптотически приближается к ней). Уж это одно показывает на неправильное приписывание этим ординатам значения величин зерна. Я никогда не мог предполагать, что можно приписать мне такой взгляд, по которому кусок стали при сильном нагреве (до точки X) может получить бесконечно большое зерно.

Всем известно, что при обработке стали необходимо стремиться получить мелкокристаллическую структуру, ибо только такая структура придает металлу высшие механические качества.

Почему это так, я немного остановлюсь на этом.

Сталь — тело кристаллическое. Какой бы кристалл или какую бы группу кристаллов мы ни взяли, мы найдем во всякой кристаллической массе так называемую спайность, т. е. плоскости или направления, по

которым наблюдается слабое сцепление молекул. По другим направлениям кристалл выдерживает гораздо большее напряжение, нежели по плоскостям спайности. При этом чем крупнее кристалл, тем он легче разрывается. Примерами кристаллов с ясно выраженной спайностью являются каменная соль, исландский шпат, гипс. Особенно ярко спайность выражена в слюде. Кристаллическое тело нельзя иначе рассматривать, как систему, в которой молекулы располагаются на неодинаковых расстояниях по разным направлениям, и следовательно, и сопротивление тела по разным направлениям также неодинаковое. Иное дело — тело аморфное. Ориентировка молекул в аморфной массе может быть изображена одинаковыми расстояниями по всем направлениям, и следовательно, и сопротивление тела по разным направлениям в этом случае должно быть также одинаковым.

Вот почему необходимо стремиться получать при обработке аморфное сложение, а если и не аморфное, то приближающееся к таковому.

Каким образом совершается переход кристаллической структуры в аморфную?

В литературе мы встречаем указание, что при нагреве стали до точки b, которую Осмонд называет точкою A_3, крупные кристаллы переходят в мелкие, причем этот переход совершается как бы путем раздробления крупных кристаллов на мелкие. Я этого никогда не понимал. Трудно допустить такое толкование, так как сталь в это время теряет упругость и вязкость и потому никакое раздробление кристаллов не может иметь места. Я представляю себе дело иначе.

При нагревании кристаллической массы расстояния между молекулами непрерывно увеличиваются. Однако это увеличение расстояния происходит не по всем направлениям одинаково. В тех местах кристаллов, где молекулы сближены, расстояния увеличиваются скорее. Наступает, наконец, момент, когда расстояния между всеми молекулами становятся одинаковыми. А если такой момент наступит, то тело превращается в аморфное, и вот точка b и есть тот момент, когда от расширения при нагревании кристаллическая ориентировка исчезает и сталь из кристаллического состояния переходит в аморфное. При дальнейшем повышении температуры (за точкой b) уже нет причины, чтобы по какому-нибудь направлению расширение было иное, чем по другому направлению, расстояние между молекулами будет равное, и структура должна остаться аморфной вплоть до точки плавления.

Что происходит при охлаждении, как начинается кристаллизация? Как только начнется понижение температуры, молекулы станут сближаться. Если тело по природе своей аморфное, тогда все частицы его слепятся одинаково. Если же тело кристаллическое, то частицы сближаются, соблюдая известный закон ориентировки и направления осей, соответствующий кристаллической форме данного вещества.

Однако для образования кристаллов необходим известный импульс. Этот импульс бывает от сосуда, в котором происходит кристаллизация, или им может быть, как в растворе соли, какое-нибудь постороннее тело. Импульс дает зародыш кристаллу. При понижении температуры им-

пульс как бы сзывает кристаллы, которые готовы выделиться из раствора.

Остановимся несколько минут на росте кристаллов. Если взять, например, раствор квасцов, то можно получить из него хороший кристалл в форме правильного октаэдра. Я опускаю на шелковинке кристалл (правильный октаэдр) в раствор и ставлю его в книжный шкаф, чтобы прикрыть от пыли. Медленное испарение будет причиной выделения соли, которая будет отлагаться на кристалле: кристалл будет расти чрезвычайно правильно. Вот что значит импульс: он сзывает частицы. Какая-то сила сзывает их, и они отлагаются равномерно, до того равномерно и правильно, что центр нового кристалла совершенно совпадает с центром старого. Мало того. Если я обломлю угол у кристалла и опущу его в раствор, то он сначала будет усиленно залечивать себя, а затем уже начнет расти.

Вернемся, однако, к стали и ее кристаллизации. Как только начинается охлаждение, в различных точках массы появляются центры кристаллизации, число которых находится в зависимости от быстроты действия причины, вызывающей кристаллизацию, в данном случае — *охлаждения*. Я склонен признать известную жизнь в кристаллах, и точно так же, как и в живой природе семейства одного рода обладают разной силой роста, так и тут. В одних центрах кристаллизация сильная, в других — нет, и никто не может этого объяснить. Каждый центр при своем возникновении намечает первоначальное направление осей кристалла. Ближайшие молекулы притягиваются и садятся. Этот процесс уже давно был замечен мною и объяснен (см. доклад 1878 г. «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок»).

Чем больше будет быстрота охлаждения, тем больше образуется центров кристаллизации. А чем больше будет центров, тем каждому из них придется меньший район действий, и потому тем более мелкая зернистость строения в конце концов получится.

Так как процесс кристаллизации совершается во времени, то, если мы совсем отымем этот необходимый элемент процесса (т. е. охладим моментально), тогда никакой ориентировки не произойдет и таким образом зафиксируется аморфная структура. Но ведь на самом деле мы никогда не можем достигнуть абсолютно моментального охлаждения, а потому вполне естественно, что *в полном смысле аморфного сложения мы получить не можем*, хотя — чем медленнее охлаждение, тем меньшее число первичных центров появляется в начале охлаждения и тем крупнее получаемое кристаллическое сложение.

Так как нельзя достигнуть абсолютно моментального охлаждения, так как нельзя совсем отнять время для полного предупреждения процесса кристаллизации, то точка b на самом деле имеет отвлеченный характер.

При охлаждении кристаллизация происходит лишь до точки b. Ниже точки b пропадает свобода перемещения молекул. Я должен, впрочем, оговориться, что не исключаю возможность кристаллизации и ниже точки b и даже при обыкновенной температуре, но в продолжительные проме-

жутки времени, либо под влиянием сотрясений, периодических изменений температуры и т. п.

Если нагрев стали производить не доходя до точки *b*, тогда старая ориентировка молекул не исчезает, она остается, и когда наступает охлаждение, то действуют старые центры кристаллизации, притягивая молекулы на старые места. В результате никакого изменения структуры не происходит.

Вот как я понимаю смысл и значение точки *b*.

Милостивые государи! В те времена, когда мне приходилось впервые наблюдать за превращениями в стали и, в частности, определять положение точки *b*, не существовало приборов для измерения высоких температур. Поневоле приходилось о степени нагрева металла судить на глаз, по цвету каления. Для сортов средней твердости стали (0,5—0,6% C) определение положения точки *b* на глаз не представляло трудностей. Не то для мягкого железа. Я был неопытен и не заметил, что железо, взятое мною для опытов, было уже испорчено (железо старых колосников — пережженное, окисленное). При постепенном нагревании (и обратном каждый раз охлаждении) железо это упорно продолжало оставаться при старом сложении вплоть до очень сильного нагрева, который я определил белым калением. Вот почему первоначально для точки *b* мягкого железа мною дана была температура белого каления, когда на самом деле, как это впоследствии подтверждено было более точными опытами, она лежит ниже 1000°.

В связи с точкой *b* я должен остановиться еще на факте, отмечаемом многими авторами, что структура стали, нагретой до температур, лежащих выше точки *b*, зависит также от продолжительности нагрева при данной температуре. Из этого факта делается вывод, что кристаллизация (рост зерна) происходит при нагревании стали, а не при охлаждении. Здесь я считаю необходимым обратить внимание на невозможность поддерживать в течение продолжительного времени одинаковую температуру без всяких колебаний. На самом деле происходят периодические небольшие понижения и повышения температуры от какого-то среднего уровня. А раз это так, то при всяком понижении ее в пределах между точками x_1, x_2, . . . и точкою *b* начинается стягивание и ориентировка кристаллической структуры, связанная с образованием молекулярных комплексов (зерен и пластинок) большей плотности, нежели гравиметрическая плотность взятого образца. При периодическом наступлении колебаний температуры вверх не могут исчезать следы группировок и ориентировок, происходящих во время периодических же понижений температуры, и, таким образом, кристаллизация прогрессирует (зерно растет) при каждом колебании температуры вниз. Это можно сравнить с храповым колесом в часах. Спусковое колесо в часах вращается все в одну сторону, хотя якорь при качании маятника спускается на один зуб.

Замечу также, что, по моим представлениям, процесс структурного превращения в точке *b* не связан с химическим превращением между Fe и C, а представляет собою чисто физическое явление. Необходимо раз-

личать химическую структуру от физической, которые часто смешиваются. Что я подразумеваю под этим смешением?

Если мы опустим кристалл какой-либо соли в насыщенный раствор другой, более растворимой, соли, и притом изоморфной с ним (например, кристалл калиевых квасцов в насыщенный раствор марганцевых квасцов), то он будет продолжать нарастать совершенно так же, как рос в растворе калиевых квасцов; опуская затем этот кристалл последовательно в растворы квасцов хромовых, железных, аммиачных, получим кристалл, пестрый по цвету и по химическому составу, но вполне однородный в кристаллографическом отношении. Отсюда следует, что в сложных агрегатах пестрых по химическому составу кристаллов могут происходить сегрегация и перемещение отдельных химических компонентов массы без нарушения ее кристаллической организации. Это вполне применимо и к сплавам железа с углеродом, которые все изоморфны и кристаллизуются в правильной системе — преимущественно в виде октаэдров, хотя чистое железо кристаллизуется только в кубические формы.

Я полагаю, что в точке b химического процесса нет. Здесь происходит поглощение теплоты при нагревании, означающее чисто физический процесс, который можно уподобить плавлению твердого вещества, — переход из твердого состояния в жидкое (аморфное).

О точке a я много говорить не буду: все признают, что для того, чтобы закалить сталь, нужно нагреть ее не ниже известной температуры; это и есть точка a. В отличие от точки b точка a на диаграмме движется очень медленно при различном содержании углерода, который мало влияет на ее передвижение. Я определял нагрев на глаз и нашел, что чем тверже сталь, тем меньше нужно ее нагревать для того, чтобы она приняла закалку. Примеси в стали, как сера, фосфор, кремний, повышают передвижение, отодвигают точку a направо. Этот вопрос не вполне еще выяснен, но я полагаю, что передвижение существует.

Какие химические превращения означает точка a? Что именно здесь происходит при нагревании и охлаждении? На это я постараюсь ответить в дальнейшем, пока ограничусь лишь тем, что явление закалки, которое связано с точкой a, чрезвычайно трудно поддается объяснению и темно до сих пор.

Сравнивая мою диаграмму с известною диаграммою Розебома, остается прибавить только превращение A_2, которое открыл Осмонд при помощи пирометра Ле Шателье, и гипотетическую кривую для выделения цементита. Только две прибавки — и диаграммы сходятся. Вот я хочу Вам рассказать, как появилась новая точка A_2 между точками a и b и что собственно она означает. Когда Осмонд открыл новую критическую точку в стали, он ее смешал с другой; сначала он назвал ее a, но затем, вследствие неудобства мелкого шрифта, назвал ее через A, причем и мои точки a и b он подвел под A, различая эти три точки цифрами 1, 2 и 3, помещенными за буквою. Таким образом, он три различные критические точки обозначил одним родовым знаком. Последняя пертурбация A_2 представляет отношение железа и стали при нагревании и охлаждении к магнитному полю. Поэтому нельзя считать удачным определение A_2 как особого аллотропи-

ческого изменения железа потому лишь, что оно в этой точке изменяет свои магнитные свойства. Это, по-моему, большое предубеждение, что железо чувствительно к магниту только потому, что оно железо. Почему говорится, что магнитные свойства железа меняются под влиянием углерода? Железо и углерод, вместе взятые, могут быть чувствительны к магниту и совершенно размагничены. Подобным же образом могут влиять на железо и другие элементы, например кислород. В природе есть готовые магниты — это магнитные железняки, представляющие, как известно, не чистое железо, а окислы. Эти естественные магниты настолько общеизвестны, что из-за них сложилось убеждение, что, где только содержится железо, его можно открыть при помощи магнитной стрелки. У Перси встречается один рассказ на эту тему. В одном захолустном городке открылся источник, ключ. Говорили, что это целебная вода, железистая, будущее богатство, если эксплуатировать. В этом городке не было врача, и решили, что анализ может произвести аптекарь. Последний поступил просто: к бутылке с водою поднес магнитную стрелку, и, когда вода действия на последнюю не оказала, решил, что в воде не содержится железа. Я позволил себе привести этот пример, чтобы показать, как у нас смотрят на магнитные свойства железа. Это предрассудок, что железо само по себе, как таковое, хороший магнит.

Возьмем такой пример: на некоторые металлы, как медь, алюминий, марганец, олово и др., магнит совершенно не действует. Однако из этих немагнитных металлов можно приготовить сплав, чрезвычайно хорошо поддающийся намагничиванию. Так, Гейслер натолкнулся случайно на возможность приготовления сплава из меди (60%), марганца (25—28%) и алюминия (12—15%), обладающего хорошими магнитными свойствами. Если этот сплав нагреть до 170°, то он становится немагнитным; если держать его между 80—150°, то он сохраняет магнитные свойства и, как указал Гадфильд, делается постоянным стабильным магнитом. Можно прибавлять и другие металлы вместо алюминия, например олово, которое тоже обладает свойством делать сплав меди и марганца магнитным.

Это обстоятельство дает мне право говорить следующее: факт приготовления из немагнитных металлов и сплавов магнитных следует объяснить общими свойствами материи реагировать определенными колебаниями молекул на действия магнитного поля. Действие на расстоянии как будто отвергается, но ведь мы принимаем действие через всемирный эфир [3*]. Нам известно, что магнитные силовые линии суть вихри и что молекулы материи под их влиянием совершают колебательные движения. Металлы, когда они находятся в магнитном поле, также подвергаются магнитным толчкам. Это мне кажется общим законом природы, могущим объяснить явление магнитной индукции в связи с явлениями световыми и электрическими. Световые колебания — иные, чем электрические, но они действуют через один и тот же эфир, и, раз мы признаем электромагнитную теорию света, явления световые и электрические могут быть объединены в одну общую группу. Здесь, нужно думать, происходят только гармонические колебания так, как мы замечаем колебания звуковые: тот предмет, который способен принять известный тон, при возбуждении данного тона, сам зву-

чит. Примером может служить изохронный маятник: если пустить один маятник в ход, то будут ходить и другие маятники. Нечто подобное или совсем подобное мы видим в струнах какого-нибудь инструмента, хотя бы виолончели. Если мы прижмем струну так, чтобы получить «до» или «соль», и проведем смычком, то возбудим подобный же звук в других струнах, если они будут так прижаты, что должен был бы получиться тот же звук. Происходит созвучие. Если же остальные струны прижаты хоть немного неверно, получается диссонанс, и струны не шелохнутся. Нельзя ли применить такое же объяснение к явлению магнитной индукции? В этом случае необходимо принять в рассмотрение также силы, действующие между молекулами вещества и удерживающие последние на определенном расстоянии друг от друга. Эти внутримолекулярные силы, или силы сцепления частиц, действуют, как известно, обратно закону тяготения, имеющему место для больших масс, например для небесных светил. Там действие обратно пропорционально квадратам расстояний, а здесь, между молекулами, совершенно другое. Там при сближении массы еще более притягиваются, а здесь, напротив, оказывают сопротивление этому сближению. Молекулярные силы противодействуют сближению и противодействуют удалению молекул от их нормального положения равновесия. Таким образом, различают молекулярные силы притяжения и отталкивания; силы отталкивания препятствуют сближению, а силы притяжения — раздвижению. Силы притяжения по мере раздвижения частиц увеличиваются, пока не наступит предел, соответствующий разрыву данного тела. Явление разрыва при растяжении проще всего объясняется, если представить себе, что молекулы металла как бы связаны пружиной. В состоянии равновесия эта пружина не сжата и не растянута. Когда мы раздвигаем молекулы, она увеличивает сопротивление; с другой стороны, при сжимании она будет сопротивляться этому сжатию.

Нечто подобное происходит и под действием силовых линий магнитного поля, если только они способны сообщаемыми данному телу, например какому-либо металлу или сплаву, магнитными толчками вызвать в молекулярных силах последнего созвучие, создать определенную напряженность. При магнитной индукции молекулярные силы находящегося в магнитном поле куска металла или сплава известным образом реагируют на колебательные движения частиц под влиянием магнитных толчков, и металл вследствие этого делается магнитным. Если мы видим, что металлы различно относятся к намагничиванию, то это зависит от величины или массы молекул, расстояния между центрами молекул, между периферями молекул и от внутреннего напряжения. Если мы у магнитного тела изменим массы молекул, изменяя его химический состав, оно может сделаться немагнитным, и наоборот. То же самое произойдет, если тем или другим путем изменим расстояние между молекулами или напряжение молекулярных сил. Поэтому вполне допустимы и возможны случаи, когда изменение магнитных свойств металла совершается под влиянием одной лишь температуры. Такой именно случай и представляет чистое железо, при нагревании которого массы молекул остаются, конечно, без всякого изменения, но зато увеличивается расстояние между молекулами,

а в связи с этим изменяется и напряжение. Последние два фактора до некоторой температуры изменяются так, что могут отвечать на магнитное влияние, когда становятся возможными колебания под действием магнитных толчков силового поля. Но, наконец, наступит такой момент, когда железо вследствие совокупного влияния обоих упомянутых факторов выйдет из такой возможности. Такое изменение магнитных свойств железа и происходит в точке A_2, открытой Осмондом.

Однако же нет никакой необходимости приписывать потерю способности к намагничиванию аллотропическому превращению железа, раз в точке A_2 изменений кристаллографического строения последнего не происходит. Неверно и то, когда приписывают железу в аллотропическом состоянии β или γ необычайную твердость закаленной стали. Закаленная сталь действительно чрезвычайно тверда и хрупка, но ведь в нагретом состоянии, когда железо будто бы переходит в состояние β или γ, оно не твердо. Некоторых смущает остановка с поглощением теплоты при нагревании в точке A_2, но это не есть исключительный признак аллотропического превращения, а вообще перехода одного вида энергии в другой.

Перехожу теперь к рассмотрению явления закалки стали. Жюльен, который работал в начале 60-х годов прошлого века, первый ясно выразил мысль, что при нагреве до красного каления происходит перемена в строении стали, а вместе с тем перемена состояния железа и углерода [4*]. Эта перемена, по теории Жюльена, связана с поглощением теплоты. Состояние углерода в этой области анормально, как он выразился. Нормальным для углерода Жюльен считает аморфное состояние, которое, однако, при нагревании переходит в кристаллическое состояние, уподобляясь алмазу. Железо же, наоборот, из свойственного ему нормально кристаллического состояния при красном калении переходит в аморфное. Если мы раскаленное докрасна науглероженное железо (сталь) подвергнем медленному охлаждению, то железо перейдет при этом в свойственное ему при обыкновенной температуре кристаллическое состояние, а углерод — в аморфное. Аморфный углерод мягок, кристаллическое железо тоже мягко. Если же быстрым охлаждением удается задержать превращения железа и углерода, то последний сохранится в стали в состоянии алмаза. При медленном охлаждении стали, нагретой до высокой температуры, поглощенная теплота выделяется наружу, а в случае быстрого охлаждения означенного выделения теплоты не происходит. И вот эта-то невыделенная теплота производит, согласно Жюльену, изменения в твердости, обусловленные закалкою. Я отмечаю это не потому, что данная теория удовлетворительна, я хотел лишь показать, как шаг за шагом вырабатывалось настоящее представление об этом явлении. Выделение теплоты, на которое впервые обратил внимание Жюльен, в настоящее время с точностью определяется при помощи инструментов для тепловых измерений.

Первоначально я вполне присоединился к взгляду Жюльена. Я не останавливался тогда на вопросе о закалке, я не был тогда практиком, и то, что говорил Жюльен, мне казалось справедливым. Теперь — другое дело. Мною в свое время были определены качественно критические точки стали, но количественно эти точки за отсутствием пирометров не могли быть из-

мерены. Значительно позже это сделал Осмонд, который с помощью пирометра Ле Шателье показал, какой температуре соответствует та или другая критическая точка. Но при этом Осмонд дал моим точкам свое особенное толкование, приписав твердость закаленной стали главным образом железу в его аллотропическом состоянии β, а впоследствии — и γ.

Согласно моему определению, точка *a* есть та температура, до которой нужно нагреть сталь, чтобы последняя при быстром охлаждении закалилась. В таком случае имеются три фактора, которые существенны для получения закалки, не считая, конечно, содержания углерода: 1) температура, до которой нужно нагреть сталь, 2) температура, до которой ее затем следует охладить, и 3) требуемая скорость охлаждения. Если мы нагреем сталь до температуры точки *a* или даже выше, чтобы быть уверенными, что сталь действительно приняла эту температуру, и затем будем медленно охлаждать сталь, то закалки не получится, так как не соблюдены все три условия. Температура, до которой нужно охладить сталь, а равно и скорость охлаждения, достаточная, чтобы получить закалку, определяются практикой.

Если мы сталь нагреем выше точки *a* и достаточно быстро охладим после этого, то она станет твердой и хрупкой. А если мы закаленную сталь начнем снова нагревать, то найдем предел, при нагреве до которого сталь теряет крайнюю твердость и хрупкость и получает отпуск, т. е. делается вязкой. Вот и оказалось, что если эта предельная температура будет достигнута при быстром охлаждении, то получится закалка, соответствующая этому охлаждению. Подобными же опытами устанавливают верхнюю температуру отпуска, при которой почти совершенно теряется влияние предшествовавшей закалки и быстрое охлаждение до которой, с другой стороны, не вызывает еще закалки. Нижний предел отпуска я обозначаю точкой *d*, а высший — точкой *e*. Точке *d* соответствует температура 200°, а точке *e* — температура 450—500°. Теперь посмотрим, какие свойства приобретает закаленная сталь. Сталь эта получает меньший удельный вес, меньшую плотность, объем, больший, чем незакаленная сталь, и значительную твердость, величина которой, впрочем, зависит от углерода: чем выше содержание углерода, тем сильнее сказывается последнее свойство. Попутно с приобретением крайней твердости и хрупкости, закаленная сталь иначе относится к действию магнитного поля, чем незакаленная: будучи закалена, сталь становится малочувствительной к магнитному влиянию. Но если держать закаленную сталь продолжительное время в сильном магнитном поле, то ее можно намагнитить; зато после продолжительного намагничивания в такой стали, как известно, магнетизм удерживается чрезвычайно долго. Вместе с тем закаленная сталь оказывает значительно большее сопротивление электрическому току, чем незакаленная. Хрупкость закаленной стали выражается в том, что она лишена способности оказывать сопротивление при ударе. Если закаленный брусок испытывать статической нагрузкой, то он может выдержать много, но динамической упругости такой брусок не имеет и не выдерживает притом ни малейшего изгиба. Это особенно сказывается на закаленных лезвиях, которые, не будучи подвергнуты отпуску, сильно крошатся. Если мы за-

каленный твердый брусок стали положим на две опоры, то даже маленький ребенок ударом молотка может разбить брусок, до того он хрупок благодаря энергичной закалке. Все это позволяет думать, что вопрос о твердости закаленной стали и связанной с ней хрупкости есть вопрос молекулярных сил по преимуществу.

Я уже имел случай указать, что молекулярные силы бывают двоякого рода: силы отталкивающие и притягивающие. Многочисленные опыты показывают, что мы имеем полное право предполагать существование этих сил. Я наглядно изобразил это соотношение молекулярных сил, проведя аналогию с действием пружины. Казалось бы, что всякое твердое тело в нормальном состоянии представляет больше сопротивления, чем в случае приложения внешних сил. Между тем, если растягивать кусок металла, то при дальнейшем растяжении требуется все большая и большая сила: в момент растяжения внутренние силы в теле как бы растут. Точно так же когда мы хотим сдавить, сжать предмет, то чем дальше, тем большую силу нужно употребить. Это дает нам некоторое представление о том, как связаны между собою молекулы. В момент равновесия они чрезвычайно податливы. Собственно говоря, всякая нагрузка, даже самая малая, вызывает смещение частиц; расстояние между частицами увеличивается, и сейчас же увеличиваются вместе с тем и силы сцепления. Очень точные исследования показали, что при растяжении даже маленький груз дает соответствующее удлинение. Покоящееся тело находится как бы в безразличном состоянии, но попробуйте сдавить его или раздвинуть, — оно оказывает тогда сопротивление crescendo.

При процессе закалки в стали как раз достигается предел, до которого представляется возможным раздвинуть частицы одну от другой. Это видно из того, что при интенсивной закалке брусок нередко лопается, дает трещины при охлаждении, а это означает, что расстояние, на котором сталь при закалке стремится удержать частицы, превышает иногда предельную величину молекулярного сцепления. Если представить себе, какие силы действуют в физических частицах, расставленных на такое расстояние, что они дальше не могут двигаться без нарушения сил сцепления, то станет понятно, почему появляется хрупкость.

Чем выражается живое сопротивление бруска? Если мы возьмем груз веса Q, свободно падающий с высоты h, то Qh будет выражать механическую работу, приходящуюся на данный брусок. Последний должен поглотить эту работу, сгибаясь под ударом падающего груза, и поглощение этой работы представляет работу внутренних молекулярных сил. В результате верхние слои бруска подвергнутся сжатию, а нижние растяжению; средний же слой, проходящий через центры тяжести всех поперечных сечений, несмотря на искривление, сохранит свою первоначальную длину: этот слой в продольном разрезе дает так назыв<аемую> нейтральную линию. Обозначив среднее напряжение в подвергнутых сжатию слоях для сопротивления на 1 кв. *мм* через q, а в растянутых слоях через p и среднюю длину пути, совершенного соответствующими частицами, через s, можно написать:

$$\Sigma qs + \Sigma ps = Qh.$$

Если брусок обладает идеальною упругостью, то он после удара выпрямляется и подбрасывает груз Q. А если указанное s для некоторых слоев превышает силы сцепления, то брусок искривляется. Таковы условия, чтобы брусок выдержал удар. Представим себе, что частицы благодаря закалке настолько удалены одна от другой, что совершенно не в состоянии подвинуться, чтобы не выйти из пределов взаимного притяжения. Что мы будем наблюдать в таком случае? Величина s будет бесконечно малая, q и p для сопротивления на 1 кв. *мм* тоже весьма незначительны даже для высших сортов стали. Сталь не сможет сопротивляться, и удар разобьет брусок, несмотря на то, что твердость его и велика. Мы такое изделие не могли бы употреблять в дело; для его исправления необходимо уничтожить чрезмерное напряжение частиц. Это достигается последующим слабым нагреванием до точки d или немного выше; после такого отпускания сталь становится немного мягче и гибче. При определенной температуре отпуска сталь приобретает большую способность выдерживать деформации, не разрушаясь. Яркий пример этому можно видеть в часовой пружине, работающей в свернутом состоянии много лет — десятки и даже целую сотню лет, без заметных изменений при стягивании и распускании. Еще более поразительно следующее, на что я хотел обратить ваше внимание. Когда я занимался в Эрмитаже, хранитель его предложил мне посмотреть толедский клинок. Оказалось, что когда император Александр II, будучи наследником, был в Толедо, ему там поднесли в подарок клинок шпаги. Замечательно то, что эта шпага помещается в небольшой коробке. И вот, когда открыли крышку, оказалось, что толедский клинок лежал внутри свернутый в виде восьмерки. На вид клинок казался шириною около 30 *см*, а толщиною — 3—$3^1/_2$ *мм* (у меня не было с собою инструмента, и я смерил его на глаз). Эта шпага лежит в таком неудобном положении с 1849 г. и совершенно не потеряла своей первоначальной прямизны.

Чрезвычайно интересен вопрос: почему, когда мы отпускаем сталь дальше и дальше до температуры 450°, наступает резкий перелом и теряются все эти упругие качества? С другой стороны, объем стали по мере ее отпуска все время уменьшается, и когда сталь получает полный отпуск, то удельный вес ее получается, как и до закалки. Если мы обратимся к химическому анализу этого явления, то так называемый углерод закала переходит понемногу в углерод карбида. Если мы начнем нагревать закаленную сталь и будем следить за скоростью ее разогревания при различных температурах, то заметим, что до 200° нагревание идет медленно, а затем быстро возрастает. Выделяется теплота, и это продолжается почти до 450°, и дает заметную волну на кривой нагревания Осмонда. Исследования Гейна в Шарлоттенбурге (1906 г.) показали, что и в химическом отношении наблюдается волна: именно по большей растворимости отпущенной стали как по сравнению с неотпущенною, так и с отожженною, причем вершина волны приходится против стали, отпущенной до температуры 400 °Ц. Таким образом, и предположение о постепенном увеличении количества карбида Fe_3C не может удовлетворительно объяснить изменение свойств стали при отпускании. Так, например, развитие чрезвычайно большой упругой гибкости, тягучести и сжимаемости, так сказать каучуковых

свойств, при отпускании стали приблизительно до 300 °Ц (до синего цвета побежалости) не может быть объясняемо тем, что большая часть углерода уже вступила снова в соединение с железом, образовала карбид, и только небольшая часть его осталась в виде углерода закала. В таком случае при дальнейшем развитии процесса следовало бы ожидать еще большего повышения вышеназванных свойств; однако замечается совершенно обратное — свойства эти почти исчезают после полного отпускания, тогда как до появления синей побежалости они постоянно возрастали.

Поэтому, не ограничиваясь высказанными до сих пор разными учеными для объяснения этих фактов гипотезами, можно взглянуть на явления закалки и отпускания с другой точки зрения, не прибегая к предположению об особом изменении состояния железа независимо от углерода, или состояния углерода независимо от железа. Подобно тому как мы рассматривали изменения структуры стали, связанные с точкою b, в зависимости от того или другого относительного расположения и группировки сложных частиц стали, можно рассматривать и явления закалки и отпускания как результат того или другого расположения и группировки атомов в сложной частице стали.

Закалку стали с последующим полным отпуском можно повторять с одним образцом большое число раз, и если, не злоупотребляя нагревом, нагревать, закалять и опять отпускать, то окажется, что, если мы будем это делать в благоразумных пределах, сталь при этом совершенно не теряет свои свойства.

Теперь несколько слов об изменении длины и объема изделий при закалке. Мои опыты с бронепробивающими снарядами показали, что сталь с 0,8% углерода при хорошей закалке с небольшим отпуском получает удлинение около $^1/_3$ процента (0,33%). Удельный вес уменьшается на 1%, и, значит, объем металла увеличивается на столько же, т. е. приблизительно в три раза больше, чем длина. В данном отношении сталь представляет удобный материал для исследования междучастичных расстояний, не переходя за пределы действия частичных сил. Свойства стали при этом, конечно, будут меняться; если, вместе с тем, примем во внимание, что силы частичного сцепления, по определению Фессендена, пропорциональны пятой степени расстояния между центрами молекул $(A/D)^{5/3}$, то станет ясно, что все свойства стали находятся в зависимости от расстояния между центрами молекул. Еще Томлинсон означил модуль упругости выражением $E\,(A/D)^{7/3}=\mathrm{const}$, где E — модуль упругости; A — расстояние между центрами молекул и D — диаметр молекулы; это выражение представляет аналогию с предшествующим.

Объем молекулы примеси, если он больше объема молекулы металла, к которому примесь прибавляется, сильно портит металл. Это мнение, приписываемое Робертс-Аустену, высказано еще до него Савченком. Известно, что присутствие кальция делает золото, свинец и марганец хрупкими, изменяя объем молекулы и расстояние между центрами. Я говорил по поводу этого расстояния, что этим путем из немагнитных металлов можно сделать сплав, чувствительный к магниту, и говорил также, каким образом железо или никель при известных условиях могут потерять свои

магнитные свойства. Упругие и пластичные свойства стали точно так же должны зависеть от расстояния между центрами молекул или физических частиц. Но сталь содержит в себе углерод, и вот этот углерод, сам по себе не богатый по своим качествам, играет большую роль в улучшении механических качеств железа, как бы сжимая атомы и тем увеличивая силу сцепления частиц.

При закалке стали перегруппировка атомов в частице может совершаться преимущественно в промежутке между точками d и e, приблизительно от 200 до 450°, причем каждою из промежуточных температур обусловливается известная степень атомной свободы для восстановления устойчивого равновесия в частице, которое не могло совершиться при закалке вследствие слишком быстрого охлаждения. В зависимости от различного взаимного расположения (уравновешенного или напряженного) атомов в частице изменяется и ее объем. Вместе с тем относительное положение (центральное, периферическое или промежуточное) атомов углерода между атомами железа в частице стали обусловливает при растворении последней в кислотах различное отношение замещаемого железом кислотного водорода — in statu nascendi — к более или менее доступным атомам углерода и, следовательно, — образование углеводородов, углеводов или углистых осадков.

По наблюдениям, сделанным на Обуховском заводе, обнаружилось, что если закаленную и слабоотпущенную сталь подвергнуть действию азотной кислоты, то, если брать холодную кислоту, получается черный осадок, углерод остается в виде налета; если же брусок растворяется в горячей кислоте, то все улетучивается. То же самое произойдет, если подействовать на сталь холодною кислотою и затем начать подогревать ее; если кислоту взболтать, то черный налет исчезает и без нагревания и остается неокрашенная жидкость. Что получается при растворении стали в азотной кислоте? Что это за явление, если при растворении в холодной кислоте остается углерод в виде черного бархатного налета?

Милостивые государи! По моему мнению, лучше всего прибегать в таких случаях к аналогии с тем явлением, которое мы можем наблюдать всегда. В наше время все занимаются фотографией, поэтому моя аналогия всем будет понятна. Если мы возьмем пластинку и положим в проявитель до действия на нее света, то ничего на ней не проявим. Положим ее затем в фиксаж — светочувствительный слой только растворится и больше ничего. А вот если возьмем экспонированную пластинку и опустим в проявитель, то сейчас же начнется проявление. А если мы положим эту пластинку в фиксаж, то окажется, что растворяется серебро. Что это за явление? Каково отношение серебра к брому после экспозиции? Дан импульс к разложению. Серебро и бром находятся как бы в состоянии неустойчивого равновесия. Углерод и водород в случае действия азотной кислоты на закаленную и слабоотпущенную сталь стоят в таком же отношении друг к другу, как серебро и бром после экспозиции [5*].

. . .Я нарисовал вам возможность воздействовать на закалку стали, чтобы дать понятие, какого рода явление здесь совершается. Я имею очень много сказать по этому поводу, но постараюсь дополнить при обработке

доклада. Я не писал ответа на то письмо [6*], про которое вам говорил, так как это было уже в начале войны. И я раньше решил сделать сообщение Металлургическому обществу, чтобы видно было, как можно ответить на вопрос о сущности закалки стали.

9

ПИСЬМО ПРОФ. Д. К. ЧЕРНОВА РЕДАКТОРУ «ЖУРНАЛА РУССКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА» [1*]

Глубокоуважаемый Михаил Александрович.

Уже более года тому назад меня поразила тяжелая форма инфлуэнцы, от которой до сих пор не могу хорошенько оправиться. Будучи почти изолирован от света и друзей, я очень мало следил за технической литературой. С начала марта и до сих пор (с коротким перерывом) я живу в Ялте и случайно на этих днях узнал, что в первой книжке «Журнала Р⟨усского⟩ м⟨еталлургического⟩ о(бщест)ва» за нынешний год помещена заметка А. Л. Бабошина «Еще о точке *b* Чернова». Я тотчас же выписал эту книжку сюда и нашел в ней, помимо упомянутой статьи, довольно много для себя интересного. Самое близкое ко мне — это заключительные слова заметки П. Я. Сальдау, которые вынуждают меня взяться за перо.

При этом я должен оговориться, что здесь, в Ялте, у меня нет под руками никаких источников для справок или ссылок на каких-либо авторов и т. п., так как имею при себе только две книжки: отдельный оттиск моих «Трудов» (из № 1 «Журн⟨ала⟩ Р⟨усского⟩ м⟨еталлургического⟩ о⟨бщест⟩ва» за 1915 год) и первую книжку (№ 1-2) того же журнала за 1916 г. Таким образом, пишу *на память* и, если в чем ошибусь, прошу простить. Если мне удастся вернуться в Петроград, то впоследствии могу восполнить недостающее.

Нужно признаться, что уже давно, и даже очень давно, мне следовало бы выступить на защиту моей бедняги *b*. Кто только не нападал на нее? Еще нужно удивляться, что она — вот уже скоро наступит ее 50-летний юбилей, — избитая со всех сторон, все-таки живет и живет. Хотя в моих литографированных записках по «Сталелитейному делу», а в особенности на моих лекциях в Артиллерийской академии я подробно останавливался на существенной стороне явления перехода структуры стали из кристаллической в аморфную, но, ввиду очень ограниченного распространения этих записок, а также и обычной забывчивости слышанного на лекциях и на докладах в учебных обществах, и на специальных съездах приходилось мне и там говорить о том же, до сих пор в специальных сферах продолжают циркулировать порою очень оригинальные истолкования этого явления. Иногда встречаются даже направленные по моему адресу наставления — как надо понимать и как надо бы называть то, что я разумел под знаком *b*. Были и такие (и теперь есть), которые отрицали какое бы то ни было научное значение моих теоретических соображений от-

носительно структурных превращений в стали, отмечая лишь важное практическое их значение. Те же истолкователи значения точки *b* Чернова теперь приходят к заключению, что при данном мною толковании точки *b* она теряет и практический смысл. Таким образом, не только моя точка, но и я сам уничтожен!

Немудрено после этого, что, говоря о превращениях структуры стали, совершенно игнорируют мое существование; то и дело ссылаются на новых и новых открывателей Америки, причем происходит нередко полнейшая путаница понятий. Так, например, перегрев смешивают с пережогом, отжигание с отпусканием, физическую структуру с химической, интенсивность кристаллизации с величиною зерен[1], мою точку *b* с моей же точкою *X* на моей диаграмме, мою точку *b* приравнивают к точке Ar_2 (?!) Осмонда и т. п. Утверждают, например, что точка *b* установлена мною как *точка, выше которой не следует ковать и катать сталь* (?!), тогда как я говорил лишь о *невозможности уплотнения стали* в области температур выше *b*, когда сталь становится несжимаемою, уподобляясь жидкости, обладает полною пластичностью; что при температурах, низших *b*, она поддается уплотнению, так что удельный вес ее можно довести до 8 (стр. 34 «Труды»)[2, 2*], и что ковка при температурах ниже точки *b* применима практически *лишь для мелких изделий*.

Относительно положения намеченных мною критических точек *a*, *b* и *X* на термометрической шкале также встречаются разноречия. В большинстве случаев упускается из вида, что в то время, когда я начал мои работы (1866—1867 гг.), мне приходилось определять степень нагрева *на глаз*, тогда еще недостаточно опытный, и применяться в этом отношении к заводской терминологии кузнечных мастеров [3].

---

[1] Для одной и той же ординаты *y* — в зависимости от скорости охлаждения — величина зерен очень разнообразна.

[2] В 1906 г. Brunton в «Journal of the Iron and Steel Institute» (vol. LXX, p. 102) сообщил, что после 14—15-кратной протяжки проволоки через конический глазок волока сталь уплотняется до удельного веса =7,998 и вместе с тем достигается высокий предел временного сопротивления; затем при дальнейших пропусках удельный вес и сопротивление разрыву начинают понижаться.

[3] В 1867 г., в бытность мою в Париже, я обратился к Румкорфу за советом относительно выбора пирометра для моих работ. Он отнесся очень внимательно к моей просьбе и рекомендовал термоэлектрический пирометр Беккереля (младшего) как наиболее пригодный для завода. Термопара (палладий—платина) с полным оборудованием была мне вскоре затем выслана Румкорфом на Обуховский завод. К сожалению, работать с этим прибором в заводской мастерской оказалось решительно невозможным: магнитная стрелка гальванометра (скорее гальваноскопа, нежели гальванометра) подвергается весьма сильному влиянию лежащих и передвигаемых больших стальных масс в мастерской, наблюдение отклонений короткой стрелки непосредственно, при очень мелких делениях лимба, само по себе чрезвычайно неудобно и ведет к большим ошибкам; к тому же сама пара, изготовленная из *губчатой* платины и палладия, была недостаточно постоянной, так что после нескольких неудачных экспериментов этот прибор — *прародитель пирометра Ле Шателье* — был оставлен без употребления. Надо надеяться, что пирометр этот до сих пор сохраняется в заводском магазине как историческая реликвия.

При упоминании о моем обозначении температур н а г л а з обыкновенно проглядывает некоторый намек как бы на ненаучность моих приемов при работе, в особенности со стороны тех лиц, которые в настоящее время просиживают целые

При этом считаю необходимым упомянуть о *белом калении*, соответствующем точке b для железа. Дело в том, что это неосторожно сделанное определение, переведенное по шкале Пулье на градусы (около 1300°), ввело в недоумение Осмонда, первого пошедшего (спустя около 20 лет) по моим следам исследователя структурных превращений в стали, как только появился пирометр Ле Шателье. С пирометром в руках Осмонд уже легко мог выразить в градусах температуры для всех особенных точек моей шкалы (a, b и X). Если бы Осмонд исправил мою ошибку слишком высокой оценки степени каления соответственно моей точке b для железа, никакой путаницы не было бы впоследствии. Однако его метод определения этих критических точек был совершенно отличным от моего метода. Точка a мною определялась по появлению закалки; точка b — по превращению крупнокристаллической (физической) структуры в едва заметную мелкокристаллическую (по излому); точка X — по наступлению распадения сильно перегретой стали на мелкие зерна (по рассыпанию) при ковке. Осмонд [4] прямо остановился на термических явлениях: поглощении и выделении теплоты во время нагревания и охлаждения стали [5]. Работая с пирометром Ле Шателье, он дал нам чрезвычайно изящные, прекрасно вычерченные диаграммы, ясно отмечающие все критические точки на термометрической шкале для различных сортов стали, железа и чугуна. При этом как нельзя лучше подтвердились мои указания на непостоянство положения всех указанных мною критических точек и на перемещение их в зависимости от состава стали (для чистой углеродистой стали — от содержания углерода, причем как направление перемещений, так и характер их с *различными скоростями*) вполне подтвердились. Термический анализ Осмонда привел к открытию еще одной особенной точки, расположенной между точками a и b. Эта новая точка, соответствующая изменению магнитных свойств железа во время нагрева, не могла быть мною замечена без помощи соответствующих приборов и всецело принадлежит Осмонду.

Ввиду того что эти три последние точки, располагаясь для железа на далеких друг от друга расстояниях, по мере перехода к твердой стали, вследствие различия своих скоростей, постепенно сближаются и, наконец, совсем совпадают в одну общую точку, Осмонд дал этим трем точкам одно родовое обозначение буквою a, в предположении, что это — та *сложная точка*, утрояющаяся [6] при переходе от твердой стали к железу, которая обозначена мною буквою a на моей диаграмме. Отмеченная же мною буквою b точка, по мнению Осмонда, должна относиться к *тому моменту* при нагревании, который, судя по соображениям Осмонда, характеризуется началом распадения стали на зерна (т. е. моя точка X) вследствие начинаю-

---

дни в готовых, хорошо оборудованных лабораториях, не будучи обременены ответственными обязанностями постоянного, с раннего утра до вечера, наблюдения и руководства работами в заводских мастерских.

[4] В сотрудничестве с Вертом.

[5] Предсказано Jullien'ом.

[6] Вследствие этого утроения Осмонд подразделил ее на: $a_1 \ldots a_2 \ldots a_3$. Впоследствии для удобства печати строчное a заменил заглавным A, присоединив для обозначения нагревания и охлаждения буквы c и r.

щегося частичного плавления цемента, связующего сложные целлюли (гранули — по его целлюлярной теории), причем Осмонд предложил обозначить этот момент буквою B' (см.[7]).

Ближайшею причиною такого выделения моей точки b из тройной точки Осмонда a явилось *не мое определение* точки b, а мое обозначение на глаз ее температуры *для железа белым калением*, тогда как третья волна диаграммы Осмонда для железа заканчивалась около 950°, и во всяком случае ниже 1000°. Более глубокая причина разногласия лежит, однако, в различии методов или признаков определения критических точек. Что касается моей точки a, то поставленный мною в основу ее определения признак — *минимум температуры, необходимой для получения закалки*, — совпадает с первою волною (a_1) диаграммы Осмонда, и никаких разногласий здесь нет. По отношению к точке b вопрос осложняется, так как моя точка обозначает понятие отвлеченное, *теоретическое, практически неуловимое*.

До сих пор я ни разу ни у кого в литературе не встретил ясного и правильного понимания установленного мною момента перехода кристаллической структуры в аморфную. Большинство авторов обходит этот вопрос молчанием; иные повторяют, с некоторыми вариантами, высказанный Осмондом взгляд на это явление [8]. Взгляд этот, после различных смутных догадок и гипотетических соображений, выражен очень просто и в коротких словах: при возвышении температуры до некоторого предела крупнокристаллическая структура превращается в мелкозернистую [9] от прямого самораздробления крупных кристаллов (или зерен) на мелкие. На мой взгляд, очень трудно себе представить, как может раздробляться пластичная, вязкая масса раскаленной стали или железа, выдерживающая под ударами молота без малейших надрывов самые разнообразные и быстрые, вполне неупругие деформации? Кроме того, возникает вопрос: какому процессу отвечает при этом поглощение теплоты, отмечаемое в этой точке замедлением нагревания металла? Почему при этой некоторой температуре кристаллы не могут во время нагревания оставаться крупными и раздробляются, а при обратном переходе через эту точку закристаллизовавшаяся после высокого нагрева сталь сохраняет крупнокристаллическое строение, не раздробляясь? Какому процессу при обратном прохождении через этот критический пояс отвечает выделение теплоты, поглощенной при нагревании? На все эти вопросы никаких определенных ответов не встречается.

Мой личный взгляд на превращение, обозначаемое точкою b, заключается в следующем.

Кристаллическая структура характеризуется тем, что молекулы, или так называемые физические частицы (того или другого вида и величины — группы молекул), расположены в известном порядке, в соответствии с на-

---

[7] См. мемуар Osmond'a: Sur le point (*b*) de Tchernoff. — Annales des Mines, 1888.

[8] В последнее время появилась новая теория образования аморфных прослоек или перегородок вследствие внутренних *сдвигов*.

[9] По Howe — в фарфоровидную.

правлением и относительною длиною кристаллографических осей той системы, к которой принадлежит кристалл. Такой порядок в расположении молекул, или частиц, обусловливает различие во взаимных между ними расстояниях для разных направлений, как параллельных, так и нормальных по отношению к осям. В согласии с ним находятся и различные свойства кристалла по разным направлениям в отношении его осей: оптические, термические, электрические, механические, отчасти даже химические.

В практическом отношении важно в данном случае хотя на минуту остановиться на механических свойствах. Некоторые вещества особенно отличаются способностью образовать, выражаясь современным языком, ассоциации молекул, принимающие иногда очень своеобразные формы: пластинчатые, листовые, столбчатые, волокнистые и т. п., причем замечается более прочное сплочение частиц или молекул между собою внутри каждой ассоциации и сравнительно слабое сцепление соседних ассоциаций между собою, так что в механическом отношении поверхности соприкасания их представляют наиболее слабые места и направления, по которым легче всего происходит излом или растрескивание (раскалывание) кристалла. Это так называемая спайность иногда бывает очень слабо заметна, а иногда вполне совершенна (например, в слюде), и в таком случае сила сцепления в плоскостях спайности очень мала. Вообще, чем больше величина кристалла и чем медленнее его рост, тем рельефнее выражается свойственная его составу спайность.

Вот почему с практической стороны желательно не допускать вообще в стальных изделиях, особенно же в таких ответственных, как артиллерийские орудия, снаряды, брони и т. п. предметы, развития кристаллической структуры, тем более — крупнокристаллической. Идеальным строением в этом отношении представляется структура *аморфная*, сплошная однородная масса, молекулы или частицы которой все по отношению одна к другой находятся в одинаковых расстояниях и расположении. Соответственно этому логически вытекает одинаковость всех свойств такой массы по всем направлениям; такое тело вполне изотропно. Однако нельзя сказать, что частицы изотропного тела расположены без всякого порядка, если они все *одинакового* диаметра. Если мы допустим, что всякая молекула или физическая частица имеет форму шарообразную, как самую простую из всех геометрических форм, то самое плотное и равномерное распределение их в массе может быть иллюстрировано плотно уложенною *кучею ядер* одного калибра; плотнее этого сложить их невозможно. Здесь мы видим совершенно правильный геометрический распорядок: каждое ядро находится в вершине равносторонней треугольной пирамиды — самого простого из всех многогранников.

Теперь мы подходим непосредственно к вопросу: каким же образом *кристаллическая масса может сама собою перестроиться в аморфную*?

Более полустолетия тому назад исследования французского академика Физо показали, что коэффициент расширения кристалла неодинаков для различных направлений по отношению его различных осей и, кроме того, претерпевает изменения в своей величине по мере возвышения темпера-

туры нагрева. В недавнее время французский академик Ле Шателье издал обширную монографию «La Silice», где подробно описаны результаты исследований неравномерного расширения кристалла горного хрусталя по различным направлениям и внезапного увеличения объема кристалла при некоторой температуре (кажется, около 570°). Не вдаваясь в подробности этого вопроса, здесь необходимо лишь подчеркнуть эту неравномерность расширения кристаллов, чтобы иметь право сказать, что при нагревании кристаллической массы стали весь ее структурный распорядок и группировка частиц и молекул постепенно сглаживаются, т. е. что расстояния между более сближенными молекулами будут быстрее увеличиваться, нежели между менее сближенными, кристаллическая ориентировка будет все более и более стушевываться и, наконец, при некоторой температуре совершенно исчезнет всякий след ее, все молекулы будут уже на равных расстояниях по всем направлениям [10], *масса примет аморфное сложение.* Вот этот момент и соответствующая ему температура и есть *точка b Чернова.*

Так.как в этом размягченном аморфном состоянии, при полной пластичности хотя и нерасплавленного металла, нет существенного отличия от жидкости (это было особенно подчеркнуто в свое время Маннесманом в его известной работе о цементации, в Verhandl. d. Vereins z. Bef. d. Cew. in Preussen, 1879, 1tes Heft, S. 31), мы вправе, по аналогии с введенными уже терминами: *твердый раствор*, *жидкий кристалл*, *упругая жидкость* (для газов), назвать такое состояние *твердою жидкостью* [11]. В самом деле, ведь здесь совершилось превращение, аналогичное с переходом в другое агрегатное состояние, и вполне естественно, что это явление сопровождается изменением объема [12] и поглощением известного количества теплоты, отмечаемое замедлением нагревания на диаграмме Осмонда.

Остановимся теперь на дальнейшей судьбе полученной аморфной структуры. Раз наступила полная равномерность в расположении молекул — нет основания допустить неравномерность расширения по какому-либо направлению при дальнейшем повышении температуры; следовательно, вполне естественно полагать, что аморфное строение должно сохраняться неизменным. Если дальнейшее нагревание, не доходя до расплавления металла, будет остановлено и температура будет поддерживаться *в точности на одной и той же высоте*, то и в этом случае нет никакого повода к каким-либо изменениям аморфной структуры. Как только температура металла начнет понижаться, одновременно с этим появляются центры кристаллизации, около которых группируются начинающие сближаться между собою окружающие их молекулы или частицы, ориентируясь соот-

---

[10] Ассоциации молекул представляют как бы особые кристаллы, и в момент, соответствующий быстрому расширению каждой ассоциации, промежутки между ними совершенно заполняются и исчезают.

[11] Такой термин несколько лет тому назад я встретил у А. А. Байкова.

[12] Сожалею, что нет под руками исследований Honda об объемных изменениях при переходе стали чрез критические точки. Кстати сказать, интересно было бы проследить за оптическими свойствами горного хрусталя при нагревании: не происходит ли исчезновение кристаллической ориентации его при 570°, когда объем его быстро увеличивается, так как кристаллический минерал имеет больший удельный вес, нежели полученное из него аморфное стекло.

ветственно намеченным из центров осям образующегося кристалла (или прерывчатого кристаллита).

Здесь уместно обратить внимание на близкое сходство *намечаемой* ориентировки будущих кристаллов в аморфной массе *с подготовлением* будущих твердых кристаллов в жидкой массе — в виде жидких кристаллов. Как здесь, так и там ориентированное положение остается незафиксированным. Как там при взбалтывании намеченные кристаллы расплываются без следа, так и здесь — во время ковки или прокатки намеченные ориентировкой кристаллиты опять теряются в аморфной массе также без следа (если одновременно с намечением ориентировки не происходило сегрегации в твердом растворе [13], о чем сказано ниже). Так же как при *затвердевании* жидкого кристалла [14] происходит действительный *переход в другое агрегатное состояние* с изменением объема и с выделением скрытой теплоты плавления, так и здесь: *зафиксирование* намеченных (ориентировкою из центров) будущих кристаллов совершается при понижении до температуры b с изменением объема и с выделением теплоты, отмечаемым волною Ar_3 Осмонда. Отсюда следует, что как аморфная структура, так и незафиксированная кристаллическая ориентация при температурах выше b находится в положении неустойчивом. Таким образом, в охлажденном куске стали остается та структура, которую он имел при обратном переходе через точку b.

Здесь считаю возможным установить некоторое условное примирение между точкою b Чернова и точкою A_3 Осмонда: если прямой переход (при нагревании) через точку b обозначать через $+b$, а обратный (при охлаждении) через $-b$, тогда $Ac_3=+b$; $Ar_3=-b$; $A_3=b$ (см.[15]).

Установив *внешнее* равенство между обоими обозначениями, остановлюсь на внутреннем их различии. Как известно, при термическом анализе обозначение критических точек на термометрической шкале может воспроизводиться саморегистрирующим пирометром автоматически, совершенно независимо от того, какой именно процесс происходит в испытуемом образце, лишь бы он был сопровождаем термическими явлениями; существо же процесса контролируется путем химического, физического или механического исследования образца, подвергнутого той или другой термической обработке. В частном случае структурные превращения, отвечающие первой и третьей волне диаграммы Осмонда, контролируются преимущественно, даже, можно сказать, почти исключительно, *металлографическим* путем. Этот последний дает непосредственные указания на степень однородности химического состава металлической массы образца, степень пестроты его, форму и характер распределения составных частей (компонентов) в случае происшедшей сегрегации, одним словом, обнаруживает *химическую структуру* металла. Необходимо несколько остано-

---

[13] Т. е. при эвтектоидной стали.

[14] При охлаждении до температуры плавления данного вещества.

[15] При таянии льда в воде температура воды должна быть выше 0° Ц, а при замерзании должна быть ниже 0°. Оттого температура $+b$ должна быть $> b$, а $(-b) < b$ (перегрев и переохлаждение).

виться на различии между химическою и физическою структурою какой-либо кристаллической массы сложного состава [16].

Известно, что изоморфные соединения, поставленные в условия одновременного выделения из раствора или из расплавленной смеси, могут дать совершенно правильно образованный кристалл пестрого химического состава. Путем последовательной кристаллизации в различных растворах изоморфных солей можно получить правильно образованный кристалл из слоев различного цвета и состава. Можно получить, например, хорошо образованный кристалл (ромбоэдр) нарастанием натровой селитры на ромбоэдр известкового шпата (см. «Химическая минералогия» Браунса). Ввиду того что железо и углерод изоморфны, так как оба кристаллизуются в формах правильной системы, так же как и их взаимные соединения и твердые растворы одного в другом, вполне естественно полагать, что превращения химической структуры железоуглеродных сплавов, происходящие в них сегрегация, диффузия, могут совершаться при полном сохранении кристаллической (физической) структуры металлической массы [17]. Отсюда следует, что рисунок вытравленного шлифа, например, данного куска стали не может служить показателем его физического строения. С другой стороны, вид излома стали, показывая непосредственно более или менее развитое крупно- или мелкокристаллическое сложение ее, не может служить показателем химической структуры.

Здесь и выступает внутреннее различие между точками A_3 Осмонда и b Чернова: так как химическое превращение (сегрегация) совершается медленно и последовательно [18], то явление *волны* A_3 и ее смысл означает превращение, присущее точке b Чернова, а не A_3 Осмонда.

К вышеизложенному необходимо прибавить несколько слов относительно степени устойчивости обеих структур и их взаимоотношений. Так, физическая структура железа устойчива до температуры около 920—910° (точка $+b$, или третья волна диаграммы Осмонда [19]). По мере перехода от железа к стали, с возрастанием содержания углерода, устойчивость физической структуры понижается, так как температура превращения и высота волны Ac_3 уменьшаются, вместе с тем появляется первая волна $+a$, или Ac_1, соответствующая распадению карбида и образованию твердого раствора углерода в железе, с чем, вероятно, соединяется и некоторое частное изменение в ориентации молекул или частиц в том же направлении, в котором оно начинается для чистого железа в точке Ac_3, потому что образование твердого *раствора* должно сопровождаться уже частичным переходом в другое агрегатное состояние, т. е. в аморфное. Это последнее предположение может быть оправдано тем, что интенсивность процесса, соответствующего третьей волне диаграммы Осмонда, постепенно убывает на счет усиления процесса, соответствующего первой

---

16 *Gages L.* Métallurgie du fer. (Paris, 1898). Définition et modification de la structure physique. T. II, p. 123—130.

17 Отсюда — двойной отжиг перед охлаждением в масле и перед закалкой.

18 Необходимо отметить, что линия SE диаграммы почти совсем не сопровождается волнами, несмотря на выделение карбида.

19 Burgess и Crowe.

волне, и как бы переносится к этой последней вместе с приближением к ней. В результате этого перемещения происходит уже *совпадение* обеих волн в одну высокую волну, когда содержание углерода достигает 0,9% и точка *b* сливается с точкою *a*. Таким образом, при содержании углерода 0,9% и выше обе структуры — физическая и химическая — претерпевают существенные изменения одновременно, причем оба эти изменения [20] связаны с поглощением теплоты, отчего общая их волна отличается большою высотою.

Остается еще проследить дальнейшую изменяемость химической структуры под влиянием тепловой обработки. Во-первых, казалось бы, нет поводов к сегрегации образовавшегося раствора при дальнейшем повышении температуры, так как растворимость в железе углерода и обыкновенно встречающихся в углеродистой стали примесей с повышением температуры увеличивается. Остановка нагрева в точности на одной и той же температуре также не должна бы вызывать никаких дальнейших изменений в химической структуре. Совсем иначе при понижении температуры: после высокого нагрева тотчас же начинается сегрегация [21] и с тем большею интенсивностью, чем выше был нагрев, и тем законченнее совершается, чем медленнее идет охлаждение.

Здесь уместно остановиться на кажущемся расхождении с опытом, не оправдывающем предположение о неизменяемости химической и физической структуры при выдерживании стали в печи при одной и той же температуре. Это противоречие действительно только кажущееся, так как практически невозможно поддерживать абсолютно одну и ту же температуру в течение сколько-нибудь продолжительного времени без колебаний то в ту, то в другую сторону от заданной. Ввиду же того что интенсивность *кристаллизационной ориентации*, так же как и *сегрегации* (для жидкой стали — ликвации), во время понижения температуры проявляется с большей силой и скоростью, нежели противоположные им *выравнение и диффузия* при повышении температуры, — каждый период колебаний последней оставляет по себе все более и более нарастающий след как кристаллической ориентации, так и сегрегации [22].

Так как кристаллическая ориентация фиксируется с выделением скрытой теплоты лишь при переходе через точку *b* при охлаждении, то при ковке или прокатке в районах температур, высших *b*, она постоянно нарушается и физическая структура металла под ударами молота возвращается в аморфную. Не то происходит с химической структурой: обособляющиеся группы выделяющихся из твердого раствора (так назыв‹аемого› аустенита), начиная от высоких температур (сначала быстро и затем замедляясь), углеродистых соединений вплоть до критической точки Ar_1 Осмонда при ковке и прокатке не возвращаются в раствор, а лишь подвергаются

---

[20] Т. е. *растворение* или *выделение* из раствора Fe_3C или C в феррите и *переход* в аморфное состояние из кристаллического или обратно.

[21] Менее всего в эвтектоидной стали.

[22] Это хорошо иллюстрируется на изломе и шлифе вынимаемых из печи полос цементной стали, которая в течение нескольких дней остается под влиянием колеблющейся температуры цементовальной печи.

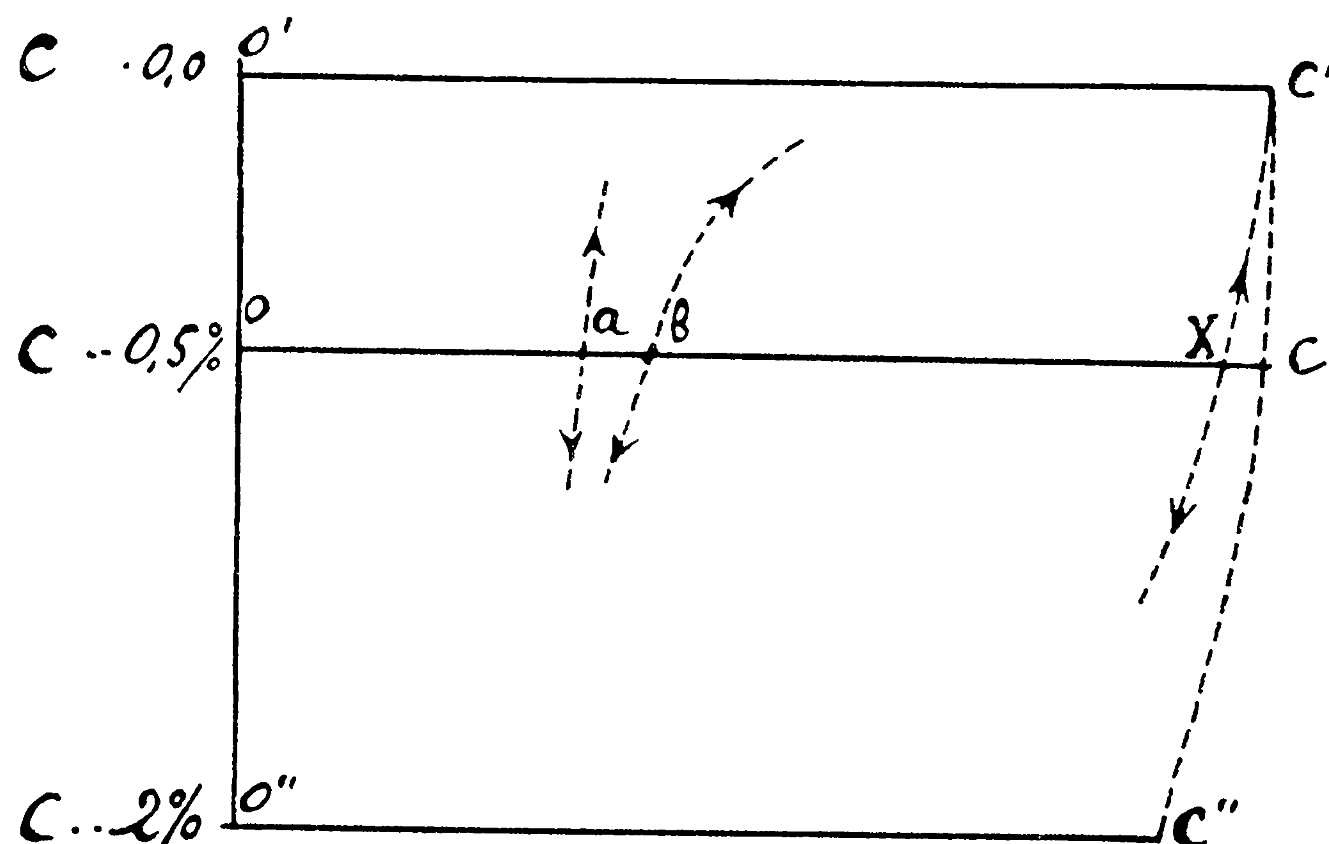
деформации, в зависимости от изменений формы обрабатываемого металла, что ясно видно на рисунке вытравленного шлифа прокованного или прокатанного образца. Отсюда видно, что данный образец стали может обладать чрезвычайно мелкокристаллическим (мелкозернистым) строением при крупном рисунке на шлифе [23], тем не менее такое смешение физической структуры с химической продолжается и поныне.

Переходя к критической точке A_2 Осмонда, остановлюсь на ее особенности, установленной весьма точными измерениями Burgess и Crowe, заключающейся в том, что, в противоположность точкам A_1 и A_3, положение ее, по крайней мере для железа, не зависит от скорости нагревания, или охлаждения, — она остается на одном месте как при нагревании, так и при охлаждении, иначе говоря $Ac_2=Ar_2$. Отсюда следует, что исчезновение или восстановление магнитных свойств данного образца железа зависит лишь от самой температуры как таковой, обусловливающей известные соотношения между массою (m) молекул, их взаимным расстоянием (d) и силами молекулярного притяжения (p) и отталкивания (q). Соотношение между этими элементами для магнитного металла должно быть таково, чтобы массы молекул могли воспринять магнитные колебания (магнитный удар), возбуждаемые магнитным полем; если междумолекулярные напряжения вполне упруги (как, например, в сильно закаленной и слегка отпущенной стали), то магнитные колебания продолжаются в металле и по выходе из магнитного поля, а если эти напряжения вовсе неупруги (как, например, в чистом мягком железе, хорошо отожженном), то металл по выходе из магнитного поля размагничивается. Но есть металлы почти совсем не магнитные (например, Cu, Al, Mn), соотношение между массами молекул, молекулярными напряжениями и расстояниями между молекулами таково, что магнитная индукция остается для них нечувствительною. Это может быть иллюстрировано способностью натянутой струны резонировать, отвечать на известный тон. Для этого необходимо, чтобы было налицо известное соотношение между массою струны, ее длиною и ее натянутостью, причем в довольно широких рамках может быть изменяем каждый из этих трех элементов, при соответственных изменениях одного или же обоих других, и тон струны будет оставаться неизменным. Подобно этому, металл может оставаться магнитным при нагревании, если с увеличением расстояний между молекулами соответственно изменяются междумолекулярные напряжения, до тех пор пока при наступлении некоторой температуры надлежащее соотношение между вышеназванными элементами нарушится. Справедливость такого предположения вполне подтверждается возможностью приготовить вполне магнитный сплав из немагнитных металлов, а также изменением магнитных свойств никелевой стали при очень низких температурах. Вот почему, мне кажется, для объяснения магнитных превращений в железе и стали при переходах критической точки A_2 Осмонда нет необходимости приписывать их переходу железа в какое-либо аллотропическое состояние.

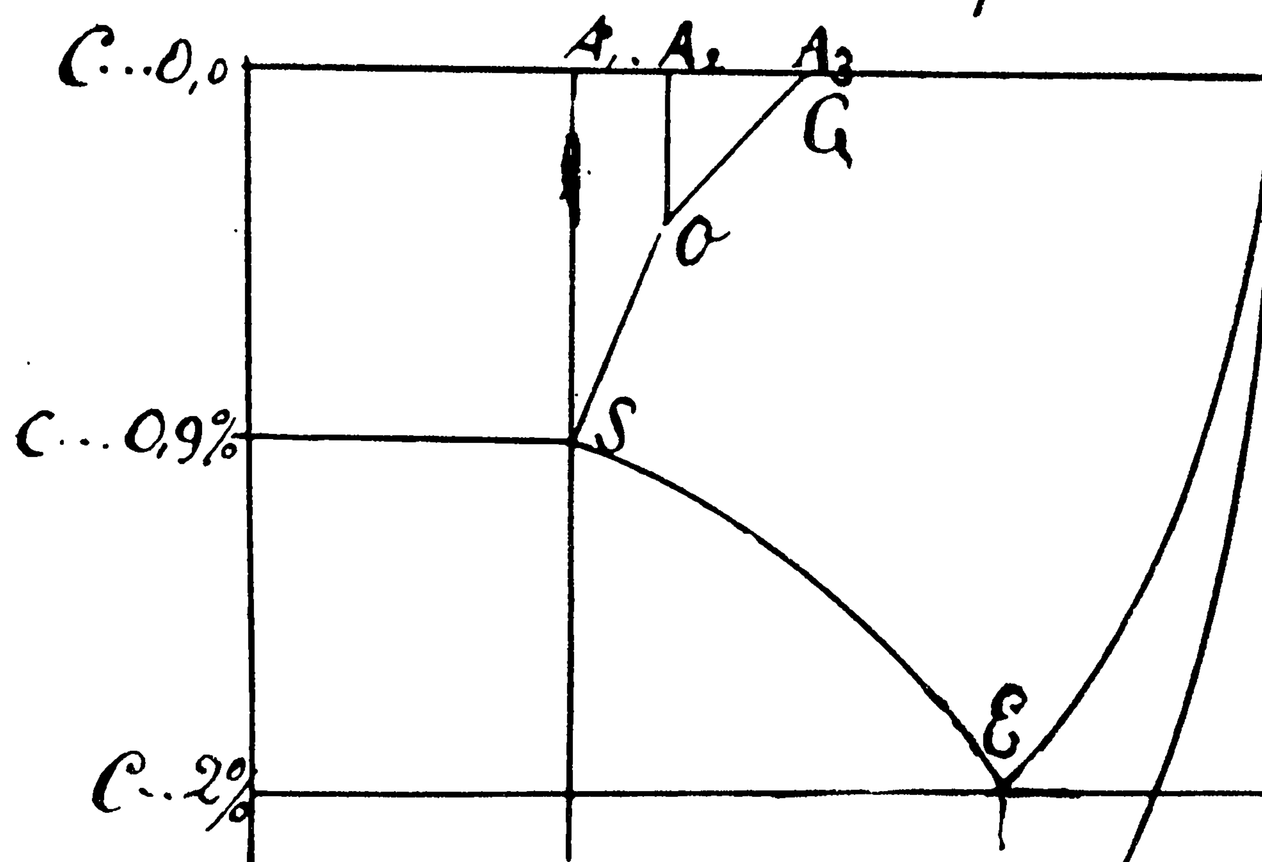
---

[23] Не могу не отметить, что единственный раз встретил только у Гейна (Heyn) упоминание об этом (в 1902 г.), но оно прошло как-то незамеченным для других.

Фиг. I



Фиг. II



Ялта,
10 ноября 1916

Д. Чернов

Принимая во внимание вышеизложенное, можно видеть, что выбранное Осмондом общее родовое обозначение для первых трех критических точек, хотя бы и совпадающих в одну общую точку для стали с содержанием углерода около 0,9% и выше, не вполне удачно и может быть терпимо ради давности и большого распространения этого обозначения; главным же обра-

зом ради вечной памяти о великом, неутомимом и плодотворном исследователе, положившем прочный фундамент для современной науки о металлах.

Два слова о форме моей диаграммы превращений в стали и железе.

Начертив линию *ос* в горизонтальном положении, отметим на ней мои особенные точки (называемые критическими): *a*, *b* и *X*, как это было намечено мною на докладе имп. Русск. техн. об-ву в 1868 году (фиг. I). Пусть эта линия соответствует стали средней твердости (около 0,5% углерода); выше этой линии проведем линию *o'c'*, соответствующую железу (0,0% углерода), и линию *o''c''* ниже линии *ос*, соответствующую предельному содержанию углерода в стали (2% углерода). Наметим пунктирными линиями те пути, по которым, согласно указаниям того же доклада, точки *a*, *b* и *X* от средней линии должны перемещаться по направлению к линии *o'c'* (для железа) и по направлению к линии *o''c''* (для чугуна), принимая во внимание *различные скорости* их сдвига по направлению от точек *o*, *o'* и *o''* к точкам *c*, *c'* и *c''* и обратно. Затем под фиг. I нанесем левую половину современной диаграммы для железоуглеродистых сплавов, повернув ее тоже в горизонтальное положение (фиг. II). По существу никакой разницы нет; в частности, прибавились две линии: путь критической точки A_2 Осмонда и гипотетическая линия выделения цементита (сверхэвтектоидного).

Мне кажется, что вышеизложенное достаточно подробно отвечает на поставленный мне вопрос. Во всяком случае, я не откажусь в мере возможности отвечать на обращаемые ко мне в категорической форме вопросы.

С чувством глубокого уважения и искренней преданности, всегда готовый к услугам.

Д. Чернов

10 ноября 1916 г.
Ялта, гостиница Метрополь

10

ИЗ ПЕРЕПИСКИ Д. К. ЧЕРНОВА С ПРОФЕССОРОМ Е. ГЕЙНОМ [1*]

1. Письмо Д. К. Чернова Е. Гейну в Шарлоттенбурге

СПб., 6/19 сентября 1902 г.

Многоуважаемый профессор

Ввиду Вашего знакомства с русским языком я решился писать Вам по-русски и очень был бы рад получить от Вас ответ также на русском языке.

Я очень доволен своим визитом в Дюссельдорф, так как сделал очень приятное для меня личное знакомство с Вами и с многими лицами, которых знал лишь только по их литературным трудам. Глубоко сожалею, что

почти вовсе не понимаю по-английски и потому не мог следить за прениями по докладам на митинге. Особенно меня интересовал Ваш доклад и Ваши прения с M-r Stead. Если в немецкой литературе появится подробный отчет об этом, то я очень просил бы Вас сообщить мне, где он будет напечатан.

С этою же почтою я отправляю Вам в двух открытых пакетах (текст и атлас) работу Ржешотарского «Микроскопические исследования железа, стали и чугуна», о высылке которой я записал на Вашей карточке за завтраком у Круппа.

В ожидании Вашего уведомления о получении посылаемых пакетов, прошу Вас, многоуважаемый коллега, принять уверение в моем искреннем к Вам уважении.

Д. Чернов

2. Ответное письмо Е. Гейна Д. К. Чернову

Шарлоттенбург, 24/IX 1902 г.

Многоуважаемый профессор

Вы хотите, чтобы я отвечал на Ваше письмо по-русски. Ну хорошо — смелым бог владеет, но за последствия моей смелости не отвечаю. Сердечно благодарю Вас за любезную присылку работы господина Ржешотарского, которую сейчас принялся перечитывать с вниманием. Честь имею отправить Вам с этою же почтою брошюру о болезнях железа и меди, в которой идет речь и о том, что напечатано в моем докладе в Дюссельдорфе. До сих пор другого ничего не появилось в немецкой литературе об этом предмете.

Я все надеялся увидеться еще раз с Вами на выставке. Мы каждый день обедали с господином Мартенсом в Festhalle, и я случайно уведомил об этом господина Рубина. Очень сожалею, что не случилось познакомить Вас с господином Мартенсом [2*].

Как только по-немецки появится какой-либо отчет о прениях в Дюссельдорфе, я непременно отправлю его по Вашему адресу, но думаю, что отчета не будет.

Я очень рад, что в Дюссельдорфе имел высокую честь познакомиться с Вами. Теперь знаю в лицо всех пионеров нашей науки, кроме господина Осмонда.

До скорого свидания в 1904 году в Петербурге, на Съезде Международного общества по испытанию материалов.

Будьте уверены, милостивый государь, что я остаюсь с величайшим к Вам уважением.

Ваш покорный слуга *Е. Гейн*

3. Ответ Д. К. Чернова профессору Гейну на его письмо

$\frac{22-IX}{5-X}$ 1902, St. Pétersbourg

Многоуважаемый профессор

Сердечно благодарю Вас за присланные при Вашем прекрасно написанном по-русски письме от 24/IX две брошюры: «Rapport du laboratoire de Charlottenburg» и «Krankheitserscheinungen in Eisen und Kupfer». Я так долго не отвечал Вам потому, что хотел сперва прочесть эти статьи, и только сегодня удалось окончить чтение. Меня очень заинтересовали Ваши исследования над ломкостью меди, в связи с влиянием водорода и образованием закиси меди и эвтектики ее с медью в медных брусках под влиянием нагрева при различных условиях. Что касается болезней железа и стали, то я очень давно писал о них, и если Вы имеете знакомство с французской и английской металлургической литературой, то наверное встречали не раз указания на мои работы. Если Вы прочтете в «Engineer» от 23 июня 1876 г. или в «Engineering» от 30 июля того же года статьи редакций по поводу первого перевода моих исследований о структуре стали, а в следующих номерах этих журналов мои работы in extenso, а также в январской книжке «Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers» 1880 г. статью под заглавием «On the structure of cast-steel ingots», то увидите, что я занимался металлографическими исследованиями еще ранее проф. Мартенса и что американский металлург Sauveur [3*] вполне прав, когда он писал мне: «Vous avez fait la théorie du traitement calorifique des aciers, du main de maître, et vos disciples ont ajoute relativement peu à vos importantes proposition».

Мне кажется, что в Германии редко упоминают о работах в других государствах, хотя бы они появились в литературе и ранее немецких. По крайней мере я замечаю это по отношению к моим работам; иногда прямо повторяют мои опыты, даже моими словами объясняют наблюдаемые явления, а моего имени не упоминают. Возьмите «Siderologie» барона Юптнера или «Eisenhüttenkunde» Ледебура [4*] и мн. друг. Впрочем, во всякой стране свои обычаи.

Если Вы поинтересуетесь моими работами, то некоторые из них могу прислать Вам. Очень жалею, что не удалось познакомиться лично с проф. Мартенсом.

Примите уверение в моем совершенном к Вам уважении.

Д. Чернов

4. Письмо проф. Е. Гейна Д. К. Чернову

Шарлоттенбург, 13/X 1902

Многоуважаемый профессор

С большим интересом я прочитал Ваши сочинения, опубликованные в «Engineering» и в «Proceedings of the Inst. of Mech. Eng.». До сих пор я только изредка находил неопределенные ссылки на Ваши работы и, насколько мне помнится, в сочинениях г-на Осмонда. Тем более я рад, что теперь знаком с ясными и дальновидными исследованиями, которые Вы опубликовали уже много лет назад. Поскольку они имеют отношение к перегреванию стали, я буду считать своим прямым долгом указать на них в моих письменных возражениях на прениях по поводу моего доклада. Вы вполне правы, утверждая, что Вы уже в 1876 году или даже раньше установили факт, что начиная с известной температуры *b* сталь обнаруживает склонность к перегреванию и что перегретую сталь можно снова исправить, нагревая ее до температуры *b*. В то же время Вы уже тогда указали на различие между перегревом и пережогом стали. Позволяю себе заметить, что в наших работах находятся и несовпадающие пункты, и я был бы очень рад, если бы Вы и последним уделили Ваше особенное внимание.

Вы пишите, что особенно в Германии редко упоминают о работах, сделанных в других государствах. Что касается до Вас лично, то это весьма печальное явление, что все страны виновны в одинаковой степени, и я не понимаю, почему Вы особенно обвиняете Германию, ибо ни одно из Ваших сочинений не появилось на немецком языке. Они опубликованы в английских журналах, и поэтому можно было ожидать, что в Англии о Ваших работах должны иметь более понятия, чем у нас. Между тем, отчет о прениях по моему докладу, которым я в настоящее время располагаю, не доказывает этого, потому что г. Ridsdale прямо утверждает, что он первый открыл фундаментальные явления перегревания стали в 1898 г. Из сказанного Вы видите, что Ваши упреки по отношению исключительно Германии не совсем справедливы. Насколько мне известно из моей практики, я могу смело утверждать, что в Германии, более чем в других странах, серьезно следят за выходящей иностранной литературою и что для этой цели специально занимаются языковедением. Если бы Вы знали, с каким трудом мне достались Вами отмеченные старые английские журналы (особенно «Proceedings»), то Вы бы менее резко осуждали за то, что в Германии до сих пор не знакомы с Вашими интересными трудами, и Вы бы не сделали незаслуженный упрек профессору Ледебуру в том, что он не упоминает Вашего имени.

Вы дальше пишите, что Вы занимались металлографическими исследованиями ранее профессора Мартенса. Насколько мне знаком профессор Мартенс, он не придает особенного значения тому, действительно ли он первый исследовал при помощи микроскопа железо. По моему мнению, нельзя оспаривать заслугу г-на Мартенса в том, что он первый сознательно задался целью употребить микроскоп для службы при испытании металлов

и что он, несмотря на долгие годы борьбы и трудности, достиг цели, которую преследовал.

Если Вы соблаговолите прислать мне Ваши сочинения, то я буду Вам за это весьма признателен.

Примите, многоуважаемый профессор, удостоверение моего величайшего к Вам уважения и остаюсь с совершенным почтением

Ваш покорный слуга *Е. Неуn*

5. Ответ Д. К. Чернова проф. Е. Гейну на предшествующее письмо последнего

СПб. 10/23X.1902

Многоуважаемый профессор

Письмо Ваше от 13/X прочел с большим удовольствием; но считаю долгом высказать Вам, что всегда глубоко уважал и теперь уважаю такого заслуженного профессора, как г. Мартенс, который действительно своей настойчивостью провел в жизнь металлографию. Я в своем письме только упомянул, что ранее появления работ проф. Мартенса уже занимался микрографией стали, но очень мало говорил о своих работах в печати. Сам проф. Мартенс упоминает о моих работах в своих первых статьях (в конце статьи в «Zeitschr. d. Ver. d. Ing.», 1880, XXIV).

Так как у меня теперь почти не осталось отдельных оттисков моих статей, то я сделал заказ книгопродавцу Вольфу, чтобы он достал для меня такие оттиски, и по мере получения их буду посылать Вам. Позволяю себе просить Вас присылать мне Ваши работы, если Вы будете что-нибудь печатать; это доставит мне очень большое удовольствие.

Прошу Вас, многоуважаемый коллега, принять уверение в моем искреннем к Вам уважении и совершенном почтении

Д. Чернов

6. Письмо проф. Е. Гейна Д. К. Чернову

Шарлоттенбург, 2/XI 1902

Многоуважаемый профессор

Сердечно благодарю Вас за присланный мне отдельный оттиск Вашей классической работы и за Ваше письмо от 23/X. Буду считать честью присылать Вам мои брошюры в будущем, и я был бы очень благодарен, если и Вы одолжили бы меня присылкою трудов Ваших и учеников Ваших.

Вот, что напечатано в моем ответе на прения по моему докладу в отношении Вас:

«The claim of priority put forward by Mr. Ridsdale to certain of the statements contained in the authors papers was disposed of in the simplest way by saying, that all right of priority in these matters belongs incontestably to Professor Tschernoff of St. Petersburg, who as far back as 1868 had dealt with the primary phenomena of overheated steel in a far—seeing manner. It was with great pleasure that he (Heyn) was able to bear testimony to the

excellent work of Professor Tchernoff, and he only regretted that he had not been previously acquainted with the contents of his article published in «Engineering» 1876, July, rage 11 under the title of: «The Structure of Steel. Remarks on the Manufacture of Steel and the Mate of Working it». His (Prof. Heyn's) work might be regarded as a continuation and extension of the laws then observed, and he was pleased, that the groundwork laid down by Mr. Tchernoff, at which he (Heyn), haid unconsciously been further working, was of so trustworthy and solid a nature» [1].

Примите, многоуважаемый профессор, удостоверение моего величайшего к Вам уважения и остаюсь с совершенным почтением.

Ваш покорный слуга *Е. Гейн*

7. Письмо проф. Е. Гейна Д. К. Чернову

Charlottenburg 13/III 1903

Многоуважаемый профессор

Примите мою сердечную благодарность за любезную присылку Вашей значительной работы. Нет сомнения, что было бы чрезвычайно необходимо, чтобы Вы еще раз опубликовали Ваши сочинения. В то время, когда они появились, человечество считало себя вправе упускать из виду русскую литературу. Как несправедливо такое отношение, это Вы доказываете до полной очевидности Вашими трудами.

С совершенным почтением и с сердечным поклоном

Ваш *Е. Гейн*

---

[1] В переводе на русский язык это гласит:

«Претензия на приоритет, оспариваемая г. Ридсдалем в отношении некоторых, содержащихся в докладе автора (Гейна) заключений, разрешается чрезвычайно просто, если указать, что все права на приоритет в данном случае принадлежат, бесспорно, профессору Чернову из Петербурга, который еще много времени тому назад, в 1868 г., охватил сущность основных явлений перегрева стали самым дальновидным образом. Автору доставляет большое удовольствие, что он может засвидетельствовать достоинства работы профессора Чернова, и единственно, о чем он сожалеет, это о том, что не успел раньше познакомиться с содержанием его (Чернова) статьи, напечатанной в «Engieneering» за июль 1876 г., стр. 11, под названием: «Структура стали. Заметки о производстве стали и способах ее обработки». Поэтому работу докладчика (проф. Гейна) следует рассматривать как продолжение и развитие общих положений, ранее установленных, и он очень рад, что фундамент, заложенный г. Черновым, на котором он (Гейн), не подозревая вовсе о его существовании, явился продолжателем, оказался столь надежной и прочной постройки».

II. МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

11

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЕССЕМЕРОВАНИЯ [1*]

I

(Сообщение в и⟨мп⟩. Р⟨усском⟩ т⟨ехническом⟩ о⟨бщест⟩ве 24 февраля 1876 г.)

Около 20 лет тому назад Бессемер начал первые промышленные опыты приготовления стали прямо из чугуна, продуванием сквозь него воздуха. На первых порах он потерпел большие неудачи, но скоро способ его оказался весьма живучим и распространился по всей Западной Европе в весьма широких размерах. В течение 20 лет производительность бессемеровских аппаратов дошла до того, что, например, в Англии в 1874 г. выделено бессемеровской стали 540 000 *т*, т. е. гораздо больше, чем вся Россия выплавляет чугуна; во Франции, Германии, Австрии и Швеции бессемерование сделало также большие успехи; даже в Америке, где до 1867 г. не было бессемеровских аппаратов, в 1874 г. производительность бессем⟨ерования⟩ стали дошла до 175 000 *т*.

Из всех государств, где сколько-нибудь значительно развито железное производство, только Россия отстала в этом отношении; хотя у нас, с самого начала появления патента Бессемера, было сделано несколько опытов, но они не увенчались успехом. Не буду касаться тех причин, которые тормозят у нас это дело, скажу только, что никак не наши чугуны в том виноваты; это можно видеть из примера Швеции, которая в отношении железного дела находится почти в тождественных условиях с нашим Уралом, но там бессемерование дает весьма хорошие результаты. В России же собственно промышленным образом бессемерование введено только на одном Обуховском заводе, в Петрограде. Еще нет 4 лет, как там начались первые плавки, но теперь уже завод работает промышленным образом, т. е. продает свои произведения из бессемеровского металла, конкурируя в ценах с иностранцами, конечно, под покровительством существующего тарифа.

В последнее время пущены бессемеровские аппараты в остальной России только на Нижнесалдинском заводе г. Демидова; но пока еще не слышно, что там идет валовое производство бессемеровской стали, хотя показанные в Техн⟨ическом⟩ обществе образцы первых плавок дают полное право заключить, что металл может быть получен очень хороших качеств.

Мм. гг.! 20 лет — это ведь не год; если в 20 лет бессемерование сделало громадные успехи, то можно, конечно, сказать, что этот процесс не нов;

но для нас в России он положительно новость. Имея случай близко стоять к бессемерованию на Обуховском заводе, я сделал несколько наблюдений как над самым процессом, так и над чисто практическою, рабочею стороною этого дела, и, собрав таким образом некоторые материалы, я решился сообщить их вам, не потому, однако, что в этом сообщении заключается какая-нибудь новость, но ввиду того, что в России бессемеровский процесс еще очень нов.

Для того чтобы несколько яснее представить весь ход бессемерования и выяснить его полезность для России, я думаю, что нужно было бы рассмотреть этот процесс с различных точек зрения, именно: с технической и экономической.

Техническая сторона процесса может быть разделена на три части: на теоретическую, конструктивную и рабочую часть, т. е. то, что немцы называют Betriebsführung. Эта последняя часть технической стороны, т. е. ведение самых работ, составляет главную часть всякого производства, это есть, так сказать, душа дела, с которой тесно связана его экономическая сторона.

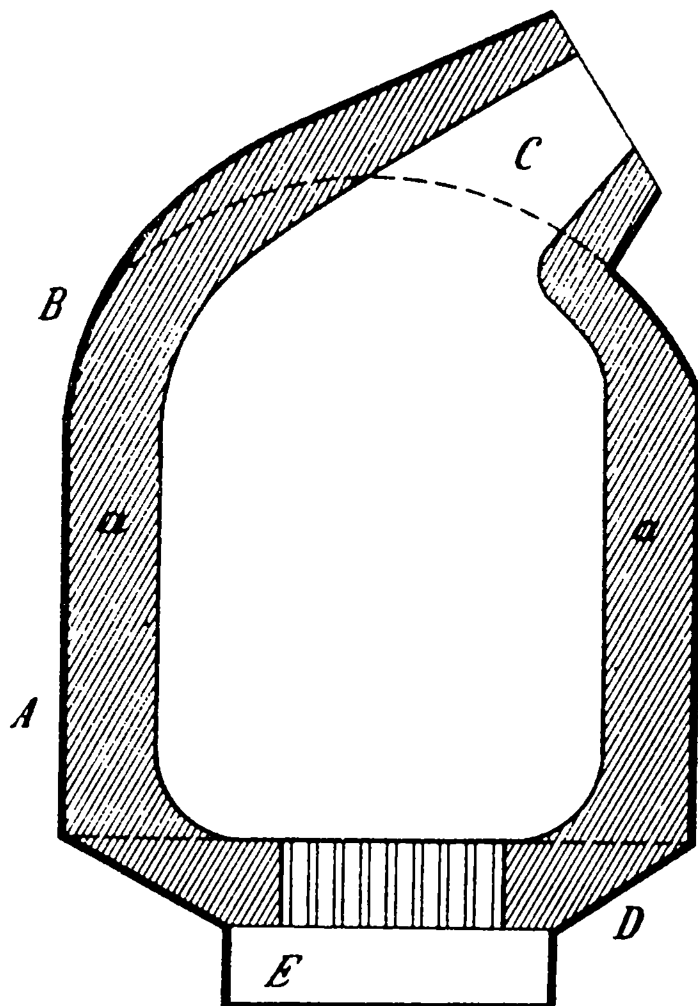
На этот раз я желал бы ограничиться только первой частью технической стороны — частью теоретическою.

Бессемерование совершается в особенном сосуде, имеющем вид реторты. Средний размер наиболее употребительных аппаратов на 5 тонн чугуна следующий:

Железный цилиндр *A* <фиг. 1>, около 8 ф<утов> в диаметре и около 7 ф<утов> высотою, накрыт сверху сферическим куполом *B*, на котором насажено горло, имеющее вид усеченного конуса. Дно цилиндра по большей части делается в виде усеченного конуса *D*, который большим основанием сидит на нижних краях цилиндра, а на меньшем основании имеет воздушную коробку *E*, в которую входит воздушная труба. Внутри этот железный сосуд выложен огнеупорными кирпичами или набойкой *a*, толщиною около 10 дюймов, так что внутренняя вместимость аппарата составляет около 250 куб. футов. В дне цилиндра проделано около 100 тонких отверстий, сообщающих внутренность реторты с воздушной коробкой, откуда проходит вдуваемый машиной воздух в реторту. Весь этот аппарат вращается в вертикальной плоскости на двух цапфах; вращение передается при помощи паровой машины или гидравлического двигателя.

Самый процесс ведется в общих чертах таким образом: предварительно раскаленная внутри реторта приводится в горизонтальное положение и из доменной печи или из вагранки по желобу в нее вливается расплавленный чугун. Так как аппарат для обработки чугуна я представил в 5 тонн, то выходит, что объем жидкого металла займет только $^1/_{10}$ часть внутренней полости реторты. Когда чугун налит в реторту, тогда ее приводят в вертикальное положение и вместе с тем пускается дутье в воздушную коробку. По мере того как чугун приближается к отверстиям дна, он встречает ток воздуха, который не только мешает чугуну проливаться сквозь отверстия, но и сам с большою силою проходит сквозь жидкую массу металла, так как давление воздуха около 7 раз больше, чем статическое давление столба металлической жидкости.

В реторте тотчас же начинается горение некоторых составных частей чугуна; газообразные продукты горения выходят из горла в дымовую трубу, а жидкие, шлаки, всплывают на поверхность металла, который к концу процесса превращается почти в чистое железо. Количество развивающейся при этом горении теплоты так велико, что, несмотря на постоянно увеличивающуюся тугоплавкость металлической ванны, окончательный продукт — железо — получается так жидко, как ртуть.



По внешним признакам можно разделить этот процесс, продолжающийся в пределах от 4 до 30 мин. (редко больше 30 и редко меньше 4 мин.) на 4 периода. Для перерабатываемого на Обуховском заводе чугуна периоды обозначаются след<ующим> образом. Как только реторта приведена в вертикальное положение и началось дутье, из горла реторты выходит весьма большой сноп чугунных искр; изнутри реторты слышен шум, но незначительный, почти такой, как если бы воздух в этом же количестве вдувать в пустую реторту. По прошествии 3, 4 или 5 мин. (это зависит от общей продолжительности процесса) шум начинает подходить к горлу и, наконец, сосредоточивается в устье горла, в самом пламени, которое несколько синеет, сначала не удлиняясь, потом вытягивается в длинный светлый язык, искры делаются мельче и количество их значительно уменьшается; давление дутья несколько падает, и машина вследствие того ускоряет ход. Этими явлениями обозначается наступление второго периода; переход этот совершается довольно быстро, так что даже наблюдающий в первый раз процесс бессемерования может заметить, что произошла значительная перемена в пламени и шуме. Период этот продолжается около 2—4 мин. без особенных перемен во внешних явлениях.

Начало следующего затем третьего периода обозначается уже менее резко, нежели для второго периода; шум пламени несколько усиливается, пламя делается гремучим, обильным, длина языка достигает до 15—20 футов, яркость света принимает наибольшую напряженность, так что глаз не в состоянии выносить света пламени. Одновременно с этими изменениями в пламени из реторты начинается извержение шлаков вместе с некоторым количеством металла. Иногда это выбрасывание так сильно, что буквально плещет через край горла, а из дымовой трубы огненный дождь осыпает местность на несколько сажен в окружности. По прошествии двух-трех минут извержения эти прекращаются и процесс продолжается совершенно без всякой перемены по виду пламени и шуму. Продолжительность этого периода весьма близка к продолжительности первого периода, так что если первый период длился, например, 5 мин., то третий период близок к этому же времени; хотя иногда и замечаются

значительные уклонения в этом отношении, но они тогда имеют связь с некоторыми обстоятельствами, относящимися к рабочей части процесса.

Затем наступает еще четвертый период, который указывает на близкий конец процесса: язык пламени укорачивается, шум вдруг начинает спадать, к пламени примешивается значительное количество красно-бурого дыма, так что даже неопытный наблюдатель заметит такую перемену; период этот продолжается только несколько секунд, и если продержать дутье больше, то по внешнему виду процесс переходит как бы опять в первый период: пламя почти совершенно исчезает, шум также стихает; опять виден слабо светящийся конус пламени, с той только разницей, что вместо снопа чугунных искр, сопровождающих пламя первого периода, в трубу идет огромное количество красноватого дыма. Вот на этом четвертом периоде, продолжающемся каких-нибудь 5—10 сек., совершенно оканчивается процесс бессемерования; реторта приводится в горизонтальное положение и таким образом металл выводится из полости дутья; клапан в дувной трубе запирается, а в ванну прибавляется зеркальный чугун с богатым содержанием углерода и марганца, через что вводится в полученное железо то количество углерода, которое нужно для образования стали.

Для того чтобы рассмотреть сущность происходящего в самой реторте процесса, нужно было анализировать продукты различных периодов бессемерования, т. е. газы, выходящие из реторты в продолжение всех периодов, а также соответственный металл и шлаки из реторты. Так как весьма трудно, если только не невозможно, взять *средний* газ из всего сечения горла реторты, а с другой стороны, трудно предположить, чтобы небольшое количество металла, взятого для анализа, представляло *средний* состав металлической ванны, то, конечно, результаты анализа как газов, так и металла, а равно и шлаков не могут служить *точною мерою* реакций, совершающихся при бессемеровании; тем не менее анализ этот дает весьма ясное понятие о ходе процесса.

Вам известно, мм. гг., с какими трудностями сопряжено собирание раскаленных газов для анализа, а потому неудивительно, что в литературе мы находим весьма немного работ по анализированию бессемеровских газов. Я могу указать на работы Снелюса, опубликованные в 1871 г., и работы Тамма, опубликованные в 1875 г.

Результаты анализа газов, взятых Снелюсом [1] в различные периоды операции, продолжавшейся 18 мин., представлены (в %) в следующей таблице <табл. 1>.

Для сравнения приведу также результаты анализа газов, собранных г. Таммом в сентябре 1874 г. во время двух операций бессемерования на заводе в Вестанфорсе, в Швеции. В следующей таблице <табл. 2> первая серия относится к операции, продолжавшейся $27^{1}/_{2}$ мин., а вторая — к операции, продолжавшейся 22 мин.

В сущности обе таблицы указывают на один и тот же ход процесса: в начале дутья газы состоят из азота, углекислоты и свободного кисло-

[1] *Snelus C. J.* Polytechn. Centralbl. 1871, S. 1368 и след.

Таблица 1

	Время после начала операции:					
	2 мин.	4 мин.	6 мин.	10 мин.	12 мин.	14 мин.
Углекислый газ	10,71	8,59	8,20	3,58	2,30	1,34
Кислород	0,92	—			Нет	
Углеродная окись	Нет	3,95	4,52	19,59	29,30	31,11
Водород }		0,88	2,00	2,00	2,16	2,00
Азот }	88,37 *	86,58	85,28	74,83	62,24	65,55
Углеводороды	—	—	—	—	Нет	—
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00 **

* Водород отдельно не был определен.

** Из того, что сумма во всех столбцах приведена к 100,00, нужно заключить, что в некоторых столбцах азот, а в других и водород определены по разности.

Таблица 2 [2]

	Время от начала операции:			
	3—5 мин.	9—10 мин.	21—24 мин.	26—27 мин.
1-я серия *:				
Углекислый газ	9,127	5,998	4,856	1,853
Кислород	4,762	1,699	0,967	0,550
Углеродная окись	0	17,555	19,322	14,311
Водород	0	0,908	1,120	1,699
Азот	86,111	73,840	73,735	81,587
	2—3 мин.	8—10 мин.	12—15 мин.	17—19 мин.
2-я серия *:				
Углекислый газ	6,608	5,613	4,144	2,995
Кислород	7,256	1,296	0,980	1,318
Углеродная окись	0	15,579	25,580	25,606
Водород	0	1,112	1,040	1,120
Азот **	86,136	76,400	68,256	68,961

* Присутствие углеводородов в этих газах не обнаружено.

** Хотя г. Тамм и говорит, что азот определялся непосредственно, однако из приведения суммы каждого столбца к 100,000 нужно заключить, что цифры для азота выведены из разности.

рода; затем, ко второму периоду, уже в них замечается присутствие углеродной окиси, количество которой быстро возрастает; в то же время появляется и водород, количество которого остается почти постоянным до конца операции.

[2] *Tamm Ad.* Berg.- u. Hüttenm. Zeitung., 1875, S. 437.

Разница между таблицами замечается только относительно свободного кислорода, который, по анализу Снелюса, со второго периода уже не заключается в газах, тогда как Тамм нашел его при обеих операциях, во все время дутья. Имея в виду работы Снелюса, Тамм объясняет эту разницу тем, что в последнем случае толщина слоя жидкого чугуна в реторте, сравнительно с силой дутья и диаметром фурменных отверстий, была столь незначительна, что некоторое количество свободного кислорода могло оставаться в газах и достигать горла реторты несгоревшим.

Казалось бы, однако, количество свободного кислорода в газах, собранных Снелюсом, должно быть более, нежели в газах, собранных Таммом, потому что в первых заключается относительно большее количество углекислоты (которая, несомненно, образуется из углеродной окиси, на счет кислорода, прошедшего через чугун в свободном виде), а следов<ательно>, и напряженность диссоциации в первом случае должна быть больше. Нельзя ли объяснить исчезновение свободного кислорода при опыте Снелюса тем, что стенки железной трубки, непосредственно следующей за мундштуком, не будучи достаточно защищены внутри от окисления, сильно нагревались и окислялись на счет свободного кислорода газов или же от недостаточной быстроты охлаждения в приемной трубке газы продолжали гореть в ней на счет свободного кислорода.

Присутствие водорода объясняется влажностью вдуваемого воздуха, и если его не находится в газах в первый период дутья, то надо полагать, что сначала он поглощается жидким металлом и только после его насыщения появляется в газах в постоянном количестве до самого конца операции.

Обращаясь к составу газов, выделяющихся в различные периоды процесса, мы видим полное объяснение тех внешних явлений, которые замечаются в пламени. Так, в составе газов первого периода нет ничего горючего, а следовательно, и нет никакого шума в пламени, не может оно быть и длинное, потому что все, что только могло гореть, сгорело в самой реторте; таким образом, в 1-й период мы видим *раскаленные продукты горения*.

Во втором периоде, в реторте не сгорает уже весь горючий газ в углекислоту, а весьма большая часть его в виде углеродной окиси выходит из горла; горение доканчивается вне реторты, уже на счет кислорода наружного воздуха, чем и объясняется весьма большой шум, слышимый в пламени.

В этот период мы видим тот конус пламени, в котором происходит наиболее энергическое горение, т. е. конус, соответствующий наиболее светящемуся поясу пламени обыкновенной свечи.

В третьем периоде, объем выходящих из реторты газов весьма велик и значительно превышает объем вдуваемого в реторту воздуха, так как относительный объем азота доходит до 68 и даже до 65%; язык пламени удлиняется до того, что полное сгорание газов совершается на далеком расстоянии от устья горла реторты, в дымовой трубе; яркость света вблизи устья горла обусловливается уже не количеством сгораю-

щих здесь газов, но весьма высокою температурою их, причем сами газы становятся светящимися.

Наконец, в четвертом периоде, упадок шума и пламени обусловливается обеднением газов, что видно из табл. 2, серия 1, где за $^1/_2$ мин. до окончания операции, т. е. перед самым наступлением четвертого периода, относительное количество углеродной окиси уже быстро упало до 14%, а количество азота возвысилось до $81^1/_2$%.

В противоположность трудности собирания газов взятие пробы металла не представляет особенных затруднений, и потому в литературе нет недостатка в материалах для изучения хода процесса по целым сериям анализа металла, взятого в различные периоды бессемерования.

Кроме того, анализ металла, взятого из ванны, дает непосредственное указание на степень участия в процессе различных составных частей чугуна, тогда как по внешним явлениям и по анализу газов можно следить только за углеродом.

В следующих таблицах <табл. 3—6> помещены исследования над последовательным изменением состава металлической ванны при бессемеровании.

Таблица 3

Проба металла с Нейбергского завода в Штирии; анализ Купельвизера* < в %>

	I	II	III	IV	V
Графит	3,180	—	—	—	—
Углерод	0,750	2,645	0,949	0,087	0,234
Кремний	1,960	0,443	0,112	0,028	0,033
Фосфор	0,040	0,040	0,045	0,045	0,044
Сера	0,018	Следы			
Марганец	3,460	1,645	0,429	0,113	0,139
Медь	0,085	0,091	0,095	0,120	0,105

* Zeitschrift d. Ver. deutsch. Ing., 1871. — *H. Wedding*. Darstellung d. schmiedbaren Eisens, S. 380.

В этой таблице <табл. 3> столбец I представляет состав чугуна, взятого для бессемерования; столбец II — проба в конце второго периода; столбец III — проба незадолго до конца третьего периода [3]; столбец IV — проба в конце операции, перед добавлением зеркального чугуна; столбец V — готовый продукт.

Весь процесс <табл. 4> продолжался 13 мин. Столбец I — состав чугуна; II — проба спустя 6 мин. от начала дутья; III — проба спустя 9 мин. от начала дутья; IV — в конце операции, перед добавлением зеркального чугуна, и V — от готового продукта.

[3] Здесь мною обозначены периоды в смысле разделения всего процесса на 4 периода, тогда как в оригинале процесс разделен только на 2 периода.

Таблица 4

Проба металла из Доулес, в южном Валлисе; анализ Снелюса * ⟨в %⟩

	I	II	III	IV	V
Графит	2,09	—	—	—	—
Углерод	1,20	2,127	1,55	0,097	0,566
Кремний	1,052	0,795	0,635	0,020	0,036
Фосфор	0,048	0,051	0,064	0,067	0,055
Сера	0,014	Следы			
Марганец	0,086				

* Zeitschrift d. Ver. deutsch. Ing., 1871. — Polytechn. Centr. Bl. 1871, S. 830; *Snellers* (?) — *Kerpely*. Bericht. VII, S. 350. *Snellers* (?). — *Wedding*. Darstellung. d. schmiedbar. Eisens, S. 380.

Здесь <табл. 5> столбцы I и VI представляют состав чугуна и готового продукта; относительно же времени, когда взяты промежуточные пробы, нет указаний. Кроме этого ряда, Кесслер сообщает еще ряд анализа, относящегося к пробам от другой операции, в следующей таблице ⟨табл. 6⟩.

Столбец I <табл. 6> — состав чугуна, выпущенного из вагранки; столбец II — проба металла спустя 4 мин. от начала операции; III — при

Таблица 5

Пробы металла с одного из северогерманских заводов; анализ Кесслера * ⟨в %⟩

	I	II	III	IV	V	VI
Графит	2,41	0,75	0,02	0,02	0,01	0,02
Углерод	0,62	2,42	3,17	1,59	0,18	0,19
Кремний	2,41	1,26	0,27	0,03	0,01	0,16
Фосфор	0,130	0,140	0,135	0,130	0,140	0,150
Сера	0,024	0,010	0,007	0,013	0,023	0,021
Марганец	2,45	0,70	0,19	0,12	0,06	0,22

* Oesterr. b. u. h. Zeitschrift. 1873, S. 75. *Kerpely*. Bericht. VIII—X, S. 923. — *Wedding*. Darstellung . . ., S. 381.

Таблица 6

	I	II	III	IV	V	VI
Графит	2,52	0,14	0,04	0,01	0,00	0,00
Углерод	1,06	3,65	3,53	2,47	0,29	0,45
Кремний	1,875	1,200	0,648	0,067	0,021	0,083
Фосфор	0,100	0,106	0,096	0,097	0,109	0,104
Сера	0,372	0,069	0,061	0,077	0,113	0,080
Марганец	1,04	0,23	0,08	0,06	0,05	0,34

начале второго периода; IV — в средине второго периода[4]; V — в конце операции, перед прибавлением зеркального чугуна, и VI — готовый продукт.

Хотя все эти четыре таблицы <табл. 3—6> показывают, что процесс бессемерования весьма сходен с процессом пудлингования, однако последовательность в окислении кремния и углерода не всегда бывает одинакова. Так, Снелюс обратил внимание на это обстоятельство еще в 1870 г. в своем сообщении в «*Обществе железа и стали*» (Iron and Steel Institute) об углероде и кремнии в чугуне. Он заметил, что иногда, к концу операции, остается еще весьма значительное количество кремния, несмотря на то, что углерод почти совершенно выгорел, и в этом случае, при кажущейся правильности процесса, полученный продукт имеет дурные качества. Между прочим, Снелюс приводит анализ дурной и хорошей бессемеровской стали <в %>:

	Дурная	Хорошая
Железо	98,120	98,831
Углерод	0,530	0,490
Кремний	0,640	0,009
Сера	0,067	0,033
Фосфор	0,038	0,036
Марганец	0,554	0,576
Медь	0,031	0,026

и совершенно справедливо приписывает большому количеству кремния дурные качества первого образца. Известно, что 0,64% кремния в железе не сделают его ломким, но в присутствии 0,53% углерода это количество кремния становится уже весьма вредным для стали [5].

Я могу привести также несколько фактов в доказательство нарушения последовательности в окислении кремния и углерода при бессемеровании.

Так, например, на Обуховском заводе, при бессемеровании одних и тех же чугунов, одним и тем же мастером:

	углерода	кремния
плавка № 5 дала сталь с содержанием	0,70	0,07
» № 27 » » » »	0,70	0,61

Так как в обоих случаях, после окончания дутья, было прибавлено одинаковое количество зеркального чугуна с расчетом получить сталь с содержанием 0,35% углерода, то, очевидно, в обоих случаях процесс был остановлен раньше, чем следует, — когда в обрабатываемой ванне заключалось еще около 0,35% углерода; количество же кремния во втором случае оставалось почти в 9 раз более, нежели в первом. Сталь № 5 показала в обработке весьма хорошие качества, а сталь № 27 ковалась дурно и давала много рванин. Подобный же пример представляют следующие две плавки:

	углерода	кремния
№ 26 содержит	0,38%	0,06%
№ 3 »	0,38%	0,51%

[4] Весь процесс разделен только на 2 периода.

[5] См. также: *Gautier F.* Définition des fontes, des fers et des aciers. Revue universelle des mines. 1875, t. XXXVIII, p. 511.

Разница от предыдущего в том, что здесь, в обоих случаях, процесс остановлен вовремя, — углерода почти совсем не осталось в металле, перед добавлением зеркального чугуна, тогда как количество кремния в № 3 превышает $^1/_2$%. Возьмем еще пример:

	углерода	кремния
№ 21 содержит	1,03%	0,20%
№ 13 »	1,04%	0,81%

Как сырые материалы, так и намерения относительно твердости стали здесь были те же, что и в предыдущих случаях; следовательно, процесс был остановлен слишком рано, и, несмотря на то, в первом случае кремния оставалось уже весьма немного сравнительно с углеродом.

Я полагаю, этих примеров совершенно достаточно, чтобы убедиться в том, что не всегда ход процесса представляется в том виде, как показывают вышеприведенные таблицы. Снелюс относит эти аномалии к тем случаям, когда в обрабатываемом чугуне очень много кремния и мало углерода. По моим наблюдениям, здесь, кроме большого количества кремния, преимущественное влияние оказывает слишком горячий ход процессса при перегретом чугуне.

Что касается серы и фосфора, то видно, что первый из этих элементов может быть отчасти выделен при большом содержании марганца в чугуне, а последний вовсе не удаляется. Невозможность удалить фосфор долго служила препятствием к переделу фосфористых чугунов на бессемеровскую сталь, и только в последнее время неудобство это устранено в значительной степени введением в состав стали значительной дозы марганца, который, *при весьма незначительном количестве углерода*, нейтрализует вредное влияние фосфора на сталь [6].

Сообщив вам, мм. гг., внешние признаки процесса в общих чертах, а также анализ газов и металла, я еще хотел обратить ваше внимание на то, что хотя указанные мною периоды и могут быть замечены простым глазом и даже неопытным наблюдателем, но при такой скорости процесса, как при бессемеровании, очень трудно определить *с точностью* тот момент, когда нужно окончить операцию. Это обстоятельство представляло вначале большое затруднение для распространения бессемеровского процесса, потому что многие боялись того, что при всех хороших условиях невозможность верно угадывать конец процесса поставит в необходимость часто получать или пережженный металл, или же недодержанный.

Счастливая мысль — употребить *спектроскоп* для определения окончания бессемеровского процесса — принесла весьма много пользы в этом отношении, хотя спектроскоп сам по себе не указывает *с точностью* конца операции, однако он избавляет от необходимости запасаться большой практической опытностью в наблюдении над пламенем и весьма значи-

---

[6] Относительно цели прибавления зеркального чугуна с большим содержанием марганца при чугунах, не содержащих фосфора, уже было говорено в нашем Обществе. (См. «Записки ИРТО», 1873. Сообщение А. П. Лундышева, с. 202.)

тельно суживает пределы ошибок, в которые впадают иногда опытные мастера при наблюдении пламени простым глазом.

Я здесь нарисовал три ленты [7], соответствующие трем видоизменениям спектра в различные периоды процесса бессемерования. Верхняя лента представляет слабый сплошной спектр весьма небольшого распространения; так, например, в нем нет даже голубого цвета, не говоря уже о фиолетовом. Во все время первого периода спектр остается без перемены, и только перед началом второго периода, когда пламя начинает несколько светлеть, замечается увеличение силы света спектра и небольшое распространение его вправо.

Наступление второго периода весьма отчетливо обозначается появлением двойной натриевой линии D, которая после нескольких мерцаний в продолжение двух-трех секунд становится постоянной. Вид спектра второго периода представлен на средней ленте; в продолжение всего этого периода, совместно с возрастанием языка пламени, увеличивается сила света ленты, ее распространение вправо и яркость линии D.

Наступление третьего периода обозначается на спектре весьма ясно появлением одновременно крайней левой красной (63,9) и светлой желтой линии (106,3) в группе δ; вслед затем быстро появляется слегка оттененная с правой стороны линия (120) в зеленой группе ε и линия (136), также оттененная с правой стороны, во второй зеленой группе η; потом последовательно выясняются группы α, γ и θ и все подробности групп δ, ε и η.

Обыкновенно от появления первых линий третьего периода до появления всех означенных подробностей проходит 5, много 10 сек. и затем, в течение следующих 2—3 мин., понемногу вырисовываются дальнейшие подробности спектра; так, появляются яркие зеленые линии (138,7) и (143,6), красно-оранжевая группа β, двойная светлая линия ζ и слабая зеленая (158,2) и, наконец, при особенно горячем ходе процесса, группы σ и ρ.

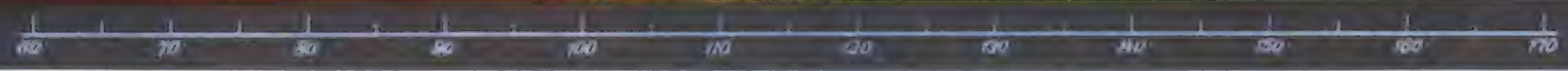
На рисунке видно, что, кроме светлых линий, выступают также темные линии и широкие полосы поглощенного спектра; но невозможность сравнения этих полос с соответственными местами *непрерывного спектра той же силы* заставляет воздержаться от указания на линии поглощения, хотя некоторые из них, несомненно, принадлежат к таким.

Для лучшего ориентирования я приложил масштаб в том виде, как он виден в употребляемом мною спектроскопе системы Кирхгофа и Бунзена, изготовленном в мастерских Штейнгейля в Мюнхене; кроме того, с верхней стороны нижней ленты показаны места Фраунгоферовых линий, намеченные из непосредственных наблюдений над солнечным спектром.

Распространение спектра третьего периода вправо уже весьма значительно, так что хорошо видно фиолетовое поле, в левую же сторону спектр почти вовсе не подвигается и оканчивается сейчас же левее красной линии (63,9), которая почти что ограничивает его с левой стороны.

---

[7] См. приложенный к этой статье хромолитографированный рисунок.


1й періодъ
2й періодъ
C ρ α β γ D δ б ε ξ η E θ b τ F
3й періодъ
60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170

Примечания к спектру. Лента спектра 1-го периода должна быть менее ярка и затухать в темно-зеленом поле — на границе с синим; в ленте 3-го периода, в группе ρ, по ошибке проведена черная линия, около левой красной; против деления масштаба 80,3 должна быть проведена тонкая светлая линия; сама лента должна затухать несколько правее — в начинающемся фиолетовом поле.

Вместе с тем автор просит уважать его право собственности на воспроизведенный им в красках, по непосредственным наблюдениям, спектр и воздержаться от дальнейших перепечаток его без разрешения автора.

Нельзя не пожалеть, что написанный автором масляными красками, висевший в зале Собраний Императорского Русского технического общества оригинал спектра оказался утерянным.

22 июля 1915 г. *Д. Чернов*

Наступление четвертого периода обозначается потускнением спектра, которое совершается более или менее быстро смотря по ходу процесса и идет в обратном порядке появления светлых групп и линий; к концу четвертого периода, однако, остаются две линии: двойная натриева (D) и крайняя левая красная (63,9).

Как я уже сказал, четвертый период очень короток, продолжается каких-нибудь 4, 5, много 7 сек., и потому в это время должно быть обращено особенное внимание на изменения спектра, чтобы не упустить надлежащего момента для остановки процесса. Конечно, здесь, как и при всяких работах вообще, нужна известная доля наблюдательности со стороны ведущего дело лица; но все-таки при помощи спектроскопа несравненно легче уловить конец операции, нежели это можно без его помощи.

Иногда процесс идет так, что еще задолго до конца третьего периода линии спектра как бы смываются силой света, спектр становится почти непрерывным; это соответствует тому явлению, которое немцы называют falscher Siebener; он продолжается, однако, недолго, — ясность линий выступает вскоре с новой силой и нисколько не мешает наблюдению в конце операции.

В некоторых случаях употребление спектроскопа не приносит особенной пользы, именно: когда передельный чугун содержит много марганца и притом процесс не доводят до окончательного обезуглерожения чугуна, а прямо останавливают его при желаемой твердости стали, как, например, на Max-Hütte в Баварии или на Königin-Marien-Hütte близ Цвикау. В этих случаях прибегают к шлаковой пробе и испытанию металлических шариков от взятой пробы из реторты [8].

Первые наблюдения бессемеровского пламени посредством спектроскопа, сколько известно, были произведены проф. Роско в 1862 г., на заводе Брауна, в Шеффильде [9]; затем появились исследования Лилегга, Веддинга, Ватта и др.[10]

Мнения ученых относительно происхождения тех или других линий бессемеровского спектра не сходятся между собой. Одни приписывают их углеродистым газам вследствие высокой их температуры, другие — присутствию марганца, так как наибольшая часть спектра этого последнего сходна с бессемеровским. Наблюдения Ватта, однако, показали, что пламя многих других печей, как, например, вагранок, доменных печей и т. п., дает более или менее ясный бессемеровский спектр.

К этому я могу прибавить и свои наблюдения. Так, мною был наблюдаем весьма ясный и подробный бессемеровский спектр в коксовом пламени при *ошлаковании новой ганистеровой набойки* бессемеровской реторты на Обуховском заводе; спектр был полон и ясен только тогда, когда набойка уже сильно раскалялась, от подброски свежего кокса проходило

---

[8] Revue universelle des mines, 1874, t. XXXV, p. 626.
[9] Philosophical Magazine, 1867, XXXIV, p. 437.
[10] Zeitschrift f. d. Berg-Hütten- u. Salinenwesen. Bd. XVII. S. 117; Berg-Hüttenm. Zeitung, 1873, S. 235.

по крайней мере четверть часа [11], и притом в реторте настолько еще было достаточно кокса, что при сильном дутье (от 6 до 8 дюймов ртути) из горла реторты выходил язык пламени $1^1/_2$—2 *м* длиною.

Другое, не менее интересное в этом вопросе, явление состоит в том, что при наблюдении в спектроскоп *пламени газов, выделяющихся из бессемеровской стали* при разливке ее в изложницы, виден ясный и полный бессемеровский спектр третьего периода; в особенности ясен и подробен спектр, когда удается направить объективную трубу так, чтобы наблюдению не мешал свет от самой стали и только свет газового пламени попадал в призму.

Не указывают ли оба приведенные мною наблюдения на зависимость бессемеровского спектра сколько от температуры наблюдаемых газов, столько и от присутствия марганца и углерода в бессемеровском пламени?

Однако от чего бы ни зависел бессемеровский спектр, для нас, в данном случае, весьма важно то, что линии спектра исчезают одновременно с полным обезуглероженнием металлической ванны и спектроскоп дает нам средство угадывать конец операции. Профессор Роско (Roscoe) утверждает, что при помощи спектроскопа во время процесса можно предсказывать наперед, с довольно большим приближением, сколько времени будет продолжаться процесс. Так, например, однажды во время дутья он предсказал, что процесс будет продолжаться 24—25 мин.; в действительности же процесс продолжался $23^1/_2$ мин. При 30 подобных же опытах в Dowlais и Ebbw-Vale продолжительность операций была предсказана наперед с большою точностью.

В подобных предсказаниях нет, конечно, ничего таинственного; слишком 500 спектроскопических наблюдений, сделанных мною над бессемеровским пламенем, показали, что для шихты Обуховского завода, за весьма редкими исключениями, продолжительность процесса равна удвоенной продолжительности первого периода+продолжительность второго периода, или, другими словами, продолжительность первого и третьего периодов равны между собой. Таким образом, если первый период (т. е. от начала дутья до появления линии *D*) продолжался 5 мин., а второй (т. е. от появления линии *D* до появления линий 63,9, 106,3, 120 и 136) продолжался $2^1/_2$ мин., то в самом начале третьего периода уже можно предсказать, что продолжительность всего процесса будет $12^1/_2$ мин. В следующей таблице <табл. 7> поставлены для примера цифры, взятые из непосредственных наблюдений, причем время отмечалось с точностью до $^1/_4$ мин.; вместе с тем в таблицу включено содержание углерода и кремния в полученной стали, по анализу в заводской лаборатории [12].

Из этой таблицы видно, в какой степени можно угадывать наперед продолжительность процесса, а вместе и то, какую пользу приносит спектроскоп, так как при остановке процесса принимались в соображение его показания.

---

[11] По мере сгорания кокса в реторте время от времени добавляется свежий, следовательно — холодный, кокс.

[12] Углерод определялся по способу Эггертца, под руководством управляющего заводской лабораторией А. А. Котлярова.

Таблица 7

№ отливки	Продолжительность, мин.			Анализ стали, %	
	1 периода	2 периода	всей операции	углерода *	кремния
440	4	$1^1/_2$	10	0,30	Следы
441	$4^1/_4$	2	$10^3/_4$	0,31	0,01
442	$4^1/_2$	$1^1/_2$	$10^1/_4$	0,28	Следы
443	$5^3/_4$	$3^1/_4$	14	0,35	0,02
444	$5^1/_2$	$2^1/_4$	$13^1/_2$	0,35	0,01
445	5	$2^1/_2$	$12^3/_4$	0,28	0,02
446	$4^3/_4$	$2^1/_2$	$12^1/_2$	0,28	Следы
447	5	$1^1/_4$	$10^1/_2$	0,31	Следы
448	5	$2^1/_2$	$12^1/_2$	0,26	Следы
449	4	$1^1/_2$	$10^1/_4$	0,31	Следы
450	4	2	$10^3/_4$	0,29	0,02
451	$5^1/_4$	$1^1/_4$	$11^1/_4$	0,26	Следы
452	$4^1/_4$	$1^3/_4$	$10^1/_2$	0,31	Следы
453	$4^1/_4$	$2^1/_4$	$11^1/_4$	0,29	Следы
454	$4^1/_2$	2	12	0,26	Следы
455	4	$2^1/_4$	11	0,27	Следы

* Для помещенных в таблице номеров отливок рассчитывалось получить сталь с содержанием 0,30% углерода.

Ввиду того что трудно отыскать настоящий момент конца операции, многим казалось с самого начала, что можно избавиться от этой трудности, определив наперед по анализу обрабатываемого чугуна то количество воздуха, которое нужно для совершения процесса, и этим ограничиться. Но такой теоретический расчет слишком мало помогает ввиду того, что процесс идет не всегда одинаково, смотря по тому, более или менее горяч чугун, более или менее нагрета реторта и т. п.

Чтобы показать, какое отношение существует в самом деле между действительно вдуваемым количеством воздуха в реторту и теоретически рассчитанным, я сделал следующие вычисления, относящиеся до одной операции. Мною было прослежено несколько операций таким образом, что сделан анализ чугуна, вливаемого в реторту, сосчитано число оборотов машины во время процесса, отмечены явления по спектроскопу и т. п. Возьмем для примера отливку № 375.

Чугун расплавлялся в вагранке; шихта состояла из смеси чугуна Юрезанского завода пополам с кумберландским гематитовым чугуном, марка Harrington. В следующей таблице <табл. 8> помещены результаты анализа каждого сорта отдельно, а также анализ смеси, взятой во время выпуска из вагранки в реторту, чтобы вместе с тем видеть и влияние переплавки в вагранке на состав чугуна [13].

---

[13] Анализ произведен также в заводской лаборатории, под руководством А. А. Котлярова.

Таблица 8

	Юрезанский *	Harrington *	Среднее	Выпуск из вагранки
Углерод (вместе с графитом)	5,03	3,92	4,47	4,48
Кремний	0,48	3,17	1,82	1,30
Сера	0,04	0,06	0,05	0,06
Фосфор	0,09	0,05	0,07	0,07
Марганец	1,16	0,07	0,61	0,39
Медь	Нет	Следы		

* Среднее из двух образцов.

Принимая за основание этот анализ и предположив, что во время дутья выжжен весь углерод, кремний и марганец, а также 0,1 % железа, легко определить потребное количество воздуха.

При плавке № 375 в реторту влито 4358 *кг* чугуна; но как во время дутья около 3% содержимого в реторте выбрасывается из горла в виде искр, то можно принять, что переделывается только 4220 *кг*.

Сделаем сперва расчет на 1000 *кг*, причем *один процент будет представлять 10 кг*.

Для окисления	1,3%	Si в SiO_2	нужно воздуха [14]	46,69×1,3= 60,697 *кг*
»	» 4,5%	C в CO	» »	57,99×4,5=260,955 »
»	» 0,4%	Mn в MnO	» »	12,66×0,4= 5,064 »
»	» 0,1%	Fe в FeO	» »	12,427×0,1= 1,243 »

Итого: для 1000 *кг* чугуна — 327,959, а для 4220 *кг* — круглым числом 1384 *кг*

Объем, описываемый поршнями воздуходувной машины в один оборот, равен 318 куб. футам. Полагая, что в реторту доставляется воздуха только 70% объема, описываемого поршнями машины, и переводя на килограммы [15], получим вес воздуха, доставляемого в реторту в один оборот, =7,6 *кг*. Следовательно, для совершения операции № 375 машина должна сделать 1384/7,6=182 оборота; на самом же деле было сосчитано (по механическому счетчику) 305 оборотов.

Для объяснения такой большой разницы нужно припомнить, что при расчете было предположено сгорание всего углерода в углеродную окись, тогда как из таблиц 1 и 2 видно, что значительная часть углерода сгорает в углекислоту; кроме того, некоторая часть кислорода выходит из реторты в свободном состоянии. Если еще прибавить к этому значительное количество кислорода, остающегося в самом металле [16] и потом насыщающегося

[14] Считая в воздухе 23% кислорода по весу.

[15] Так как воздуходувные цилиндры во время хода нагреваются, то температура воздуха принята в 20°, причем вес литра воздуха при 0° принят, по Менделееву («*Об упругости газов*»), равным 1,2943 *г*, влажность же в расчет не принята. Летом, в жаркие дни, цилиндры нагреваются до 70°.

[16] А. Бендер нашел в металле перед добавлением зеркального чугуна 0,35% кислорода. (См. Berg.- u. Hüttenm. Zeitung, 1872, S. 261.)

марганцем зеркального чугуна, то излишек числа оборотов машины объясняется сам собою [17].

Обстоятельства эти, однако, не могут быть наперед предусмотрены в *количественном* отношении, так как сравнительное количество углекислоты и свободного кислорода в газах зависит от более или менее горячего хода процесса, что доказывается непосредственным счетом числа оборотов. Когда процесс идет холоднее, тогда и число оборотов машины подходит ближе к определенному теоретическим путем, при принятых выше предположениях; это видно из следующих цифр:

№ плавки	Число оборотов машины	№ плавки	Число оборотов машины
270 [18]	216	381	283
375	305	382	280
376	290	383	294
377	304	384	265
378	298	385	274
379	320	392	309
380	256	393 [19]	335

Необходимо прибавить, что во всех этих случаях переделывался чугун такой же смеси и в той же пропорции, как и при плавке № 375, и анализ которого помещен выше; разница только в степени перегрева чугуна и в температуре стенок реторты.

Перейдем теперь к рассмотрению тепловых явлений, имеющих место при бессемеровании.

Руководствуясь работами Жордана [20], Купельвизера [21] и Окермана [22], я сделал вычисление для взятой уже нами прежде отливки № 375. При вычислении количества единиц теплоты, *остающейся в металлической ванне* и, следовательно, идущей на возвышение ее температуры, приняты следующие предположения:

1) Температура вливаемого в реторту чугуна =1400° (по Цельсию)[2*].

2) Весь углерод сгорает в углеродную окись.

3) Количество вдуваемого в реторту воздуха равно определенному выше при 182 оборотах машины.

4) Азот и углеродная окись выходят из реторты при температуре 1400°.

5) Стенки реторты не передают теплоты и не оплавляются.

---

[17] Ad. Tamm (Berg.- u. Hüttenm. Zeitung, 1875, S. 440), рассчитывая количество воздуха для той операции, к которой относится анализ газов 1-й серии табл. 2, находит, что при отсутствии свободного кислорода и углекислоты в газах на каждый центнер чугуна нужно было бы ввести в реторту 39,89 фунтов воздуха; принимая же в соображение состав газов по этой таблице, находит, на каждый центнер чугуна нужно было 47,61 фунтов воздуха. Если принять такое же отношение и для взятой нами плавки № 375, то, вместо 182 оборотов, машина должна была бы сделать 217 оборотов, что и было в точности при плавке № 270, продолжавшейся 7 $^1/_2$ мин. (см. ниже).

[18] Операция продолжалась 7 $^1/_2$ мин.

[19] Операция продолжалась 12 $^1/_4$ мин.

[20] *Jordan.* Note sur la fabrication de l'acier fondu. Paris, 1869.

[21] Beilage zu N 17, d. österreich. Zeitschr. f. Berg.- u. Hüttenwesen. 1870; Berg.- u. Hüttenm. Z., 1871, S. 71.

[22] *Åkerman.* — Berd.-u. Zeitung, 1874, S. 76.

Относя все вычисления к 1000 *кг* переделываемого чугуна (причем один процент = 10 *кг*), имеем следующие величины для количества теплоты, идущей на возвышение температуры ванны (т. е. за вычетом теплоты, идущей на нагревание вдуваемого воздуха до температуры 1400°, и теплоты, уносимой газами из реторты также при температуре 1400°):

		В реторте остается
При горении 1% (т. е. 10 *кг*)	железа	7 244 ед. т‹еплоты›
» » » »	кремния	61 742 » »
» » » »	марганца	7 244 » »
» » » »	углерода	4 752 » »

Таким образом, на 1000 *кг* чугуна № 375 будем иметь:

0,1%	железа составляет	7244×0,1= 724	‹ед. теплоты›
1,3%	кремния »	61742×1,3=80 264	» »
0,4%	марганца »	7244×0,4= 2 898	» »
4,5%	углерода »	4752×4,5=21 384	» »
		Всего 105 270	ед. т‹еплоты›

Если определенная Ринманом теплоемкость жидкого чугуна (0,21) может быть принята и для жидкой стали, то для нагревания 1000 *кг* стали на 1° нужно 210 единиц теплоты, а от 105 270 ед. т‹еплоты›, температура ванны увеличится на 501°, следовательно, температура полученной стали будет 1901° [23].

От прибавления зеркального чугуна температура ванны, конечно, несколько понижается, зато, по всей вероятности, количество сгоревшего железа более, нежели принято в вычислении, а потому вычисленная температура весьма близка к действительности.

Для приблизительной поверки этой цифры я пробовал погружать в сталь при разливке ее в изложницы платиновую проволоку. Погруженная на 1—2 сек. платиновая проволока, 0,4 *мм* в диаметре, иногда совершенно расплавлялась, а иногда уменьшалась в диаметре, так что по вынутии из жидкой стали представлялась в виде тонкого волоска. Кусочек платины, 5 *мм* шириною и 3 *мм* толщиною, погруженный на 3—4 сек. в сталь, только что налитую в изложницу, вынут с сильно округленными кромками и углами, толщина уменьшена на $^1/_4$ *мм*, а ширина — на 1 *мм*. Из этого опыта видно, что температура стали близка к точке плавления платины, которую Девиль определяет в 1900° [24].

Из предыдущего вычисления видно, что на развитие теплоты при бессемеровании кремний оказывает преимущественное влияние, а потому тем горячее полученный продукт, чем больше содержит кремния обрабатываемый чугун.

Однако в этом отношении нет надобности идти слишком далеко, так как из приведенного примера видно, что при 1,3% кремния получается

[23] Принимая теплоемкость жидкой стали 0,16, как делает Окерман, получим для температуры 2058°.

[24] Как далеко от ныне измеренной (1755°) [3*]! — *Прим. Д. К. Ч‹ернова›, 191*

такая горячая сталь, что, влитая уже в изложницу, она имеет температуру, близкую к точке плавления платины. С другой стороны, нельзя сказать, чтобы здесь был большой *излишек* теплоты; для разливки стали по изложницам нужно время, в разливном ковше сталь постоянно охлаждается; если сталь мало перегрета, образуется настыль в ковше. Кроме того, достоинство отлитых болванок во многом зависит от температуры стали при отливке: если сталь сравнительно холодна, болванки выходят пористы. Поэтому там, где по местным обстоятельствам для бессемерования представляется выбор только древесноугольного чугуна с малым содержанием кремния, как, например, в Швеции или на Урале, там нужны некоторые особые меры для возвышения температуры бессемеровского продукта.

Известно, что при горении газов развивается значительно высшая температура, если они находятся под весьма высоким давлением, оттого советовали по возможности сузить горло реторты, т. е. по возможности затруднить выход из нее газа, что и делается в Швеции до сих пор. Так, в обыкновенной английской реторте диаметр отверстия горла около 18 дюймов, тогда как в Швеции делают очень узкое горло, иногда около 9 дюймов в диаметре.

Одним из весьма действительных средств для возвышения температуры металла является ускорение хода операции, чрез что уменьшается потеря теплоты лучеиспусканием, а также и отдача теплоты стенкам реторты. Само собой разумеется, что сюда же относится и возможно сильное раскаление реторты перед операцией.

В Швеции, на заводе Сандвикен, усилением вдувания воздуха достигают того, что процесс совершается в 4, много в 5 мин.; металл, несмотря на то, что чугун содержит только 0,5% кремния, выходит настолько жидок, что они могут отливать самые мягкие сорта стали.

В числе других мер, которые предлагались, нужно отметить введение в реторту древесноугольного порошка вместе с воздухом. Именно в Штирии, на Нейбергском заводе, это было испытано в 1867 г.; вскоре, однако, опыты были оставлены, так как мера эта не принесла пользы. То же нужно сказать и об употреблении натровой селитры. На заводе Эдскен в Швеции было испытано в 1868 г. горячее дутье; но опыты не удались, так как вследствие разрежения воздуха от нагревания и недостаточной силы дутья оказывался недостаток в кислороде.

В Австрии, по предложению Туннера, была объявлена премия в 1000 флоринов за успешное введение бессемерования туземных древесноугольных чугунов на горячем дутье. По поводу этого предложения в Цельтвег, близ Юденбурга, в Штирии, в 1873 г. были произведены опыты с сильно нагретым дутьем, до 600—700°.

Действительность этой меры выразилась весьма рельефно: можно было бессемеровать даже белые чугуны и притом утилизировать рельсовые обрезки. На этом, однако, дело не остановилось, потому что собственно практически эта мера оказалась весьма неудобной: аппараты нагревались так сильно, что трудно было ими маневрировать, а еще того хуже, что набойки днища внутри реторты и фурмы не выдерживали 2—3 плавок,

тогда как обыкновенно они выдерживали 15 и даже 20 плавок, так что, выигрывая с одной стороны, теряли очень много с другой.

Нельзя не признать достойным внимания предложения Окермана прибегнуть к прибавлению кислорода к вдуваемому в реторту воздуху. Это должно значительно возвысить температуру металла, а с другой стороны — сократить время процесса и уменьшить расход на движущую силу, так как воздуходувная машина может быть тогда уменьшена пропорционально количеству примешиваемого кислорода.

Скажу несколько слов еще о фурмах. Число отверстий в фурмах и диаметр их на разных заводах неодинаковы. Для примера укажу на следующие данные [25] <табл. 9>.

Таблица 9

Завод	Вместимость реторты, m	Число отверстий	Диаметр отверстий, дюймы	Площадь, кв. дюймы	На 1 m, кв. дюймы
Königshütte	3	49	$^1/_4$	2,40	0,80
Neuberg	3	49	$^1/_3$	4,27	1,43
Zwickau	3	42	$^1/_2$—$^3/_5$	5,12	1,71
Heft	2	42	$^1/_3$	3,66	1,83
Crewe	5	144	$^3/_8$	15,59	3,18
Dowlais	5	156	$^3/_8$	17,22	3,44
Zeltweg	5	56	$^1/_2$	11,02	2,20
Обуховский зав<од>	5	84	$^1/_2$	14,70	2,94
	5	189	$^3/_8$	18,63	3,73

Последний столбец, представляющий сравнительное отношение площади всех фурменных отверстий на 1 m вместимости реторты, не может служить сам по себе к сравнению количеств вдуваемого в реторту воздуха, если не принимать в соображение диаметра фурменных отверстий. Так, из опытов на Обуховском заводе с различным числом фурм оказывается, что как при 84 отверстиях диаметром $^1/_3$ дюйма, так и при 189 отверстиях диаметром $^3/_8$ дюйма процесс идет совершенно одинаково, — никакой разницы ни в продолжительности процесса, ни в ходе воздуходувной машины, ни даже в качествах получаемой стали не замечено, несмотря на то, что в первом случае на 1 m приходится 2,94 кв. дюйма, а во втором 3,83 кв. дюйма. Очевидно, тут диаметр фурменных отверстий играет большую роль, так как при той большой скорости, с какой воздух вдувается в реторту, незначительное изменение в диаметре каналов оказывает уже большое влияние на сопротивление. Практическая разница выразилась только большей дороговизной ремонтировки днища с большим числом фурм.

Чтобы видеть влияние увеличения площади фурменных отверстий на ускорение хода процесса, при одной и той же воздуходувной машине, я приведу следующие данные.

---

[25] *Wedding.* Darstellung d. schmiedb. Eisens. S. 351; *Kerpely.* Bericht. VIII—X. S. 657.

При бессемеровании английских гематитовых чугунов на Обуховском заводе в реторту было вставлено 12 фурм по 9 отверстий в каждой; диаметр отверстий был $^3/_8$ дюйма. Операция продолжалась при таких фурмах от 19 до 22 мин.; а когда поставили 21 фурму, с такими же 9 отверстиями в каждой, тогда процесс бессемерования тех же чугунов стал продолжаться от 14 до 15 мин., машина же вместо 23—24 оборотов делала 28—29 оборотов.

На этом я прошу позволения окончить первую часть моего сообщения.

II

(Сообщение имп. Р<усскому> т<ехническому> о<бщест>ву 12 марта 1877 г.)

В прошлом моем сообщении по бессемерованию я уже говорил, что при одних и тех же материалах, при одних и тех же печах и машинах иногда получается продукт очень хорошего качества, а иногда качества продукта так дурны, что он не может обрабатываться под молотом. Понятно, что причину таких явлений надо искать в ходе самого процесса. И действительно, наблюдения показывают, что самое важное влияние на качество продукта именно заключается в том или другом ходе бессемерования.

Для того чтобы рассмотреть подробнее те условия, которые мешают получению хорошего продукта, посмотрим, какие задачи нормального хода бессемеровского процесса. Относительно материалов нужно заметить, что для хорошего исхода при бессемеровании во всяком случае нужно избегать присутствия большого количества серы и фосфора в чугуне, так как оба эти элемента не удаляются при бессемеровании, а потому, чтобы не усложнять исследования процесса, предположим, что обрабатываемый чугун не содержит серы, фосфора, меди и других вредных примесей. Полезные и притом необходимые составные части обрабатываемого чугуна, как известно, составляют кремний, углерод и отчасти марганец. Задача процесса, вообще, заключается в полном выжигании кремния, углерода и марганца.

Свойства полученного продукта должны удовлетворять следующим условиям: при разливке стали в изложницы не должно образоваться настылей ни в ковше, ни в самой реторте; отлитые болванки должны быть чисты и не приставать к формам, не привариваться к ним; иметь чистую поверхность, коваться в горячем состоянии — чисто, без рванин и трещин.

Взглянем теперь на явления, сопровождающие нормальный ход процесса. Здесь я буду принимать нормальными те условия, при которых мне самому пришлось изучить этот процесс, а именно: реторта имеет внутреннюю вместимость 250 куб. футов; масса обрабатываемого чугуна равна 5 *т* и занимает около $^1/_{10}$ внутреннего объема реторты; воздуходувная машина доставляет в реторту около 6000 куб. футов воздуха в ми-

нуту [1], в дно реторты вставлено 12 фурм по 7 отверстий в каждой, 12 *мм* в диаметре; обрабатываемый чугун имеет состав, близкий к тому, который указан мною в прошлом сообщении, под № 375. Плавка чугуна ведется в вагранке на коксе; по окончании процесса добавляется зеркальный чугун в количестве от 5 до 8% с содержанием марганца около 8%.

Нормальный ход процесса при этих обстоятельствах сопровождается следующими явлениями. Как только реторта поставлена в вертикальное положение, после вливания в нее чугуна, и началось дутье, — из горла реторты виден очень слабый красновато-желтый короткий язык пламени, сильно маскируемый густым снопом чугунных искр, вылетающих из горла. Из реторты слышится незначительный шум, характер которого довольно верно можно определить шипящим. Давление воздуха, обыкновенно поддерживаемое около 22 фунтов на кв. дюйм, остается постоянным в продолжение всего первого периода, причем в спектроскопе виден слабый, мало распространенный, непрерывный спектр.

По прошествии 4—5 мин. вид пламени начинает быстро изменяться: язык светлеет, количество искр несколько увеличивается, но они делаются мельче и белее; шум изменяет характер и принимает оттенок мягкого гула, так что шипения почти не слышно; давление дутья несколько падает (около $^1/_2$ фунта на кв. дюйм); в спектроскопе в то же время появляется двойная натриевая линия; с увеличением света пламени спектр также становится яснее и несколько более распространенным.

Наступивший второй период продолжается около $1^1/_2$—2 мин., почти при неизменных явлениях, исключая только постоянное увеличение света и длины пламени и уменьшение количества искр. Затем наступает третий период, который обозначается весьма ясно опять изменением характера шума, который делается гремучим; пламя сильно светлеет и делается еще более обильным, оно полупрозрачно, так что край дымовой трубы слегка просвечивает сквозь это пламя. Давление воздуха опять несколько падает (также около $^1/_2$ фунта на кв. дюйм); искр заметно мало, и в спектроскопе видно появление характеристических бессемеровских линий. Порядок появления и сила этих линий были мною указаны в прошлом сообщении, спектр третьего периода виден на приложенной таблице [2]. Сила света пламени так велика, что глаз не в состоянии выносить его.

По прошествии одной или 1,5 мин. от начала третьего периода из горла реторты начинают показываться крупные капли и выплески шлаков и чугуна. Выбрасывание это заметно увеличивается в продолжение одной минуты, затем, приблизительно через $^1/_2$ мин. опять прекращается. Исключая только это недолгое выбрасывание, внешние явления, сопровождающие третий период, остаются постоянными до его конца, который наступает по прошествии 4,5—5 мин.

---

[1] Воздуходувная машина описывает объем 318 куб. футов в один оборот; при 28 оборотах в минуту и при 70% полезного объема выходит, что в реторту доставляется с небольшим 6000 куб. футов в минуту, что составляет с небольшим 1200 куб. футов в минуту на тонну чугуна.

[2] Оригинал, писанный масляными красками, находится в помещении и<мп>. Р<усского> технического общества [4*].

Наступает четвертый период, весьма короткий, продолжающийся 4—5 сек., во время которого замечаются следующие явления: быстрое падение шума и пламени; спектр тускнеет, характеристические линии исчезают; к пламени, сильно уменьшившемуся, примешивается постоянно большее и большее количество красно-бурого дыма; на этом процесс оканчивается.

Реторта приводится в горизонтальное положение и в полученную ванну жидкого железа вливается расплавленный зеркальный чугун. Во время самого вливания из реторты вдруг появляется громадный светлый язык весьма яркого пламени; из реторты слышно бурление, вследствие которого из горла выбрасываются искры металла.

Пламя и бурление продолжаются недолго, 8—10 сек., затем все снова успокаивается; металл выливается в разливной ковш, а шлаки, плавающие на металлической ванне, полужидкие, вязкие, льются вместе с металлом в ковш и там после выливания образуют плавающую одежду для стали. Затем, при разливке стали по изложницам, происходит обыкновенно вскипание металла, заставляющее несколько придержать разливную струю. По окончании разливки в изложницы [3], продолжающейся около 20 мин., при диаметре струи в 21 *мм*, в ковше не остается никаких настылей; при вынимании болванок из изложниц не представляется никакого труда, так как болванки легко отстают от формы.

При дальнейшей обработке болванок в изделия сталь показывает весьма хорошие качества как по чистоте поверхности, так и по тягучести и ковкости в нагретом состоянии. Вот те явления, которые сопровождают процесс, ведущий к хорошему результату.

Но этого слишком недостаточно для того, чтобы в каждом данном случае сказать, насколько ход процесса уклоняется от нормального.

Для этого нужно рассмотреть, так сказать, типические процессы, представляющие крайние уклонения — один в холодную, а другой в горячую сторону, причем нужно заметить, что как одна, так и другая крайность случаются очень редко, при некоторых особенных обстоятельствах, о которых будет сказано после; но в каждом отдельном случае можно ясно видеть большее или меньшее уклонение процесса в ту или другую сторону, смотря по большему или меньшему сходству сопровождающих явлений с крайними типическими.

Уклонение в *холодную сторону*, т. е. ход процесса, дающий сравнительно очень холодную сталь, замечается с самого начала первого периода, именно: давление воздуха, обыкновенно поддерживаемое на уровне 22 фунтов на кв. дюйм, вслед за началом дутья начинает возрастать и воздуходувная машина видимо уменьшает ход. Предельным возрастанием давления служит нагрузка на предохранительный клапан; при только что упомянутых обстоятельствах давление никогда не допускалось выше 26 фунтов на кв. дюйм; соответственно этому нагружен предохранительный клапан. Явление это происходит от образования настылей при устьях фурменных отверстий; там образуются чугунные конусы в виде сосулек,

[3] Вес каждой болванки около 13 пудов.

сжимающие площадь свободного прохода для воздуха и вдвойне вредные как для воздуходувной машины, так и для реторты, потому что вместе с настывшими сосульками отрывается иногда значительная часть набойки днища.

В пламени такого первого периода весьма мало изменений, только количество крупных искр и крупных капель чугуна, по временам выбрасываемых из горла, заметно больше, нежели при нормальном ходе. В спектре никакой разницы против нормального не видно, но уже самая продолжительность первого периода, параллельно с возрастанием давления воздуха, указывает на холодный ход. Первый период тогда затягивается и вместо 4 или $4^1/_2$ мин. продолжается $6^1/_2$ и 7 мин. Однако по мере хода процесса все-таки температура ванны возрастает до того, что настыли на фурмах расплавляются; это обыкновенно случается только к концу первого периода, и тогда количество мелких искр значительно увеличивается; вместе с тем делается заметным падение давления воздуха и ускорение хода воздуходувной машины.

Второй период начинается при явлениях, весьма сходных с нормальными. Разница главным образом заключается в большей густоте пламени и в большем обилии сопровождающих его искр.

Переход в третий период и весь третий период отличаются только несколько меньшей гремучестью шума (при холодном ходе первая половина третьего периода сопровождается несколько сильнейшим шумом, нежели вторая), присутствием искр и отсутствием выплескивания шлаков и металла. По спектроскопу начало третьего периода не совсем ясно, так как сравнительно густое и светлое пламя дает светлый непрерывный спектр, которые затрудняет выяснение нежных характерных линий третьего периода; вторая половина третьего периода дает ясный и полный характерный спектр, мало отличающийся от нормального: появление Li_α (63,9) в начале третьего периода несколько запаздывает.

Четвертый период обыкновенно в холодном процессе очень короток, продолжается не больше 2—3 сек. Укорочение пламени и падение шума идут быстро; исчезание линий спектра также быстро; поворот реторты совершается одновременно с появлением первых признаков затускнения спектра и падения шума.

При вливании зеркального чугуна пламя не так обильно, как при нормальном ходе, и бурление в реторте менее заметно. При выливании из реторты в разливной ковш шлаки, будучи очень густы, не сливаются вместе с металлом в ковш, а почти целиком остаются в реторте; таким образом, более холодный металл при разливке из ковша по изложницам остается еще, кроме того, без всякой покрышки и тем более подвергается дальнейшему охлаждению; это ведет за собой образование плавающей настыли на поверхности стали, настылей на стенках и на дне ковша, а если к тому же разливка идет по мелким формам, то ведет и к застыванию разливного очка, которое тем более неприятно, что металл тогда должен остаться в ковше и потерять свою ценность вследствие неудобства обработки большого и неуклюжего куска, застывшего в ковше. Разлитый же по изложницам металл, говоря вообще, не показывает дурных качеств

как по виду болванок, так и по их обработке; они сходны с болванками, полученными при нормальных условиях, и только в изломе замечается большая пористость. Таким образом, *холодный ход процесса не оказывает дурного влияния на качества металла*, а представляет только процесс, невыгодный в экономическом отношении.

Обратимся теперь к тем явлениям, которые указывают на *слишком горячий ход* процесса. Первый период весьма похож на нормальный, и вообще в начале процесса трудно отличить будущий горячий ход от нормального; только опытный глаз может заметить, что количество искр, выбрасываемых из реторты, значительно меньше и самые искры мельче, нежели при нормальных условиях.

При переходе процесса во второй период горячий ход заявляет себя разжижением пламени, оно делается прозрачным и, в противоположность густому светлому пламени холодного хода, синеватым; шум не так велик, как при нормальных условиях; натриевая линия не сразу после появления делается постоянной, но мелькает в спектре в продолжение около $^1/_2$—$^3/_4$ мин., раньше чем сделается постоянной. Самый второй период очень короток, если судить о конце его по появлению характерных линий в спектре [4]. Уже спустя $^1/_2$—$^1/_4$ мин. после фиксирования натриевой линии начинают мелькать зеленые группы; Li_α появляется несколько раньше выяснения других характерных линий. Пламя, между тем, еще не принимает гремучего характера; сила света его очень мало изменяется, только величина языка и обилие выходящих газов сильно возрастают. После нескольких мельканий характерных линий третьего периода, наконец, проясняется полный спектр, но довольно постепенно; так же постепенно меняется и характер шума. Спектр сравнительно темен и состоит в начале третьего периода почти только из одних линий, что прямо противоположно холодному ходу. Давление воздуха также несколько указывает на горячий ход, а именно вследствие большей свободы для прохода воздуха чрез очень жидкий металл давление дутья падает несколько сильнее, нежели при нормальном ходе, и машина заметно ускоряет ход. Пламя долго остается совсем прозрачным, так что сквозь него не только видно ребро дымовой трубы, но ясно можно различать и швы между кирпичами.

Выбрасывание в третьем периоде, характеризующее нормальный ход процесса, здесь совсем не появляется, и по этому признаку можно было бы смешать горячий ход с холодным, если бы прозрачность и синева пламени и почти полное отсутствие искр над пламенем не указывало бы, что процесс идет очень горячо. Шум вообще чрезвычайно слаб, хотя к концу третьего периода он постепенно и увеличивается, однако далеко не достигает той силы, какая замечается при нормальном ходе. Вместе с некоторым увеличением шума постепенно увеличивается сила света пламени, и только к концу третьего периода оно становится ослепительно ярким.

---

[4] Замечательно, что для нормального хода при чугунах, по составу близких к указанному выше составу чугуна плавки № 375, удвоенная продолжительность 1-го периода+продолжительность 2-го=продолжительности всего процесса; для холодного эта сумма значительно больше, а для горячего — значительно меньше, нежели продолжительность всего процесса.

Наступление четвертого периода весьма неясно: слышно постепенное и весьма притом медленное ослабление шума; в спектроскопе обыкновенно замечается увеличение силы света непрерывного спектра, а чрез то и уменьшение ясности линий. Признаки эти до того неопределенны, что наблюдающий за процессом становится в недоумение относительно времени, когда следует считать процесс оконченным. Обыкновенно в этом случае следует продолжать дутье 15—20 сек. после того, как все линии спектра (кроме линии D) уже смылись, шум упадет до того, что будет похож на шум первого периода, а из горла реторты в продолжение почти одной минуты уже идет красновато-бурый дым; затем реторта поворачивается в горизонтальное положение; при вливании зеркального чугуна вылетает весьма большой язык яркого и продолжительного пламени, сопровождаемого сильным клокотанием в реторте и выбрасыванием искр.

При выливании затем металла из реторты в ковш совсем жидкие шлаки вполне выливаются вместе с металлом, сильно пузырятся, поднимаются шапкой и к концу выливания идут чрез край ковша. При разливе стали по изложницам замечается сильное вскипание, причем она не смачивает стенок изложницы, не настывает на них; по мере разливки по формам диаметр разливного очка от слишком горячего металла значительно увеличивается. Само собою разумеется, что после разливки такого горячего металла не остается настылей в ковше. При вынимании болванок из форм представляются большие затруднения: металл приваривается к стенкам изложниц, несмотря на то, что они перед отливкой окрашиваются внутри огнеупорною глиною; больше всего он пристает к днищу — оно и естественно, так как струя металла при разливке постоянно бьет о днище, и затем большого труда стоит отбить днище от болванки. Если при таком горячем ходе процесс будет остановлен вслед за появлением обыкновенных признаков четвертого периода и не будет продолжен до того, как сказано выше, то при обработке такого металла под молотом дурные его качества обнаруживаются при первых же ударах — получаются рванины, и при том способе приготовления шин, какой принят на Обуховском заводе [5], болванки не могут быть употребляемы в дело; сталь не выдерживает такого сильного растягивания, какое происходит во время проделки отверстия в шинной болванке. Однако и в тех случаях, когда остановка процесса сделана при указанных выше предосторожностях, качества полученной стали уступают нормальной, и болванки куются не совсем чисто.

Обращаясь к анализу полученных продуктов при всех трех видоизменениях процесса, я нашел, что *при слишком горячем ходе процесса в металле остается несгоревшим большое количество кремния.* Уже в прошлый раз я привел некоторые цифры из анализа нескольких отливок, указывающие

---

[5] См. сочинение г. Густелева «Практические заметки по фабрикации вагонных и локомотивных шин на Обуховском сталелитейном заводе», СПб., 1870 г.

Относительно продолжения дутья при горячем ходе процесса на несколько секунд долее обыкновенного я с удовольствием встретил вполне справедливые замечания г. Жанойе в 1873 г. в его статье «Fabrication des fontes Bessemer et leur contersion en acier» par J. Janoyer. (Extrait des annales des mines, t. III, 1873), p. 46.

на большее содержание кремния при горячем ходе процесса и тем большее, чем ранее остановлен процесс [6]. Таким образом, видно, что, действительно, условия хода процесса могут изменять реакции, происходящие в реторте при продувании воздуха. Заметив большой вред от слишком горячего хода процесса, я старался найти средство по возможности избегать такой ход, или если уже замечается по характеристическим признакам во время самого хода процесса, что он будет очень горячим, то изменять ход процесса в холодную сторону настолько, чтобы приблизить его к нормальному. Это мне удалось при помощи тормозного клапана, поставленного в воздуходувной трубе перед входом ее в воздушную коробку, из которой идут две ветви к ретортам.

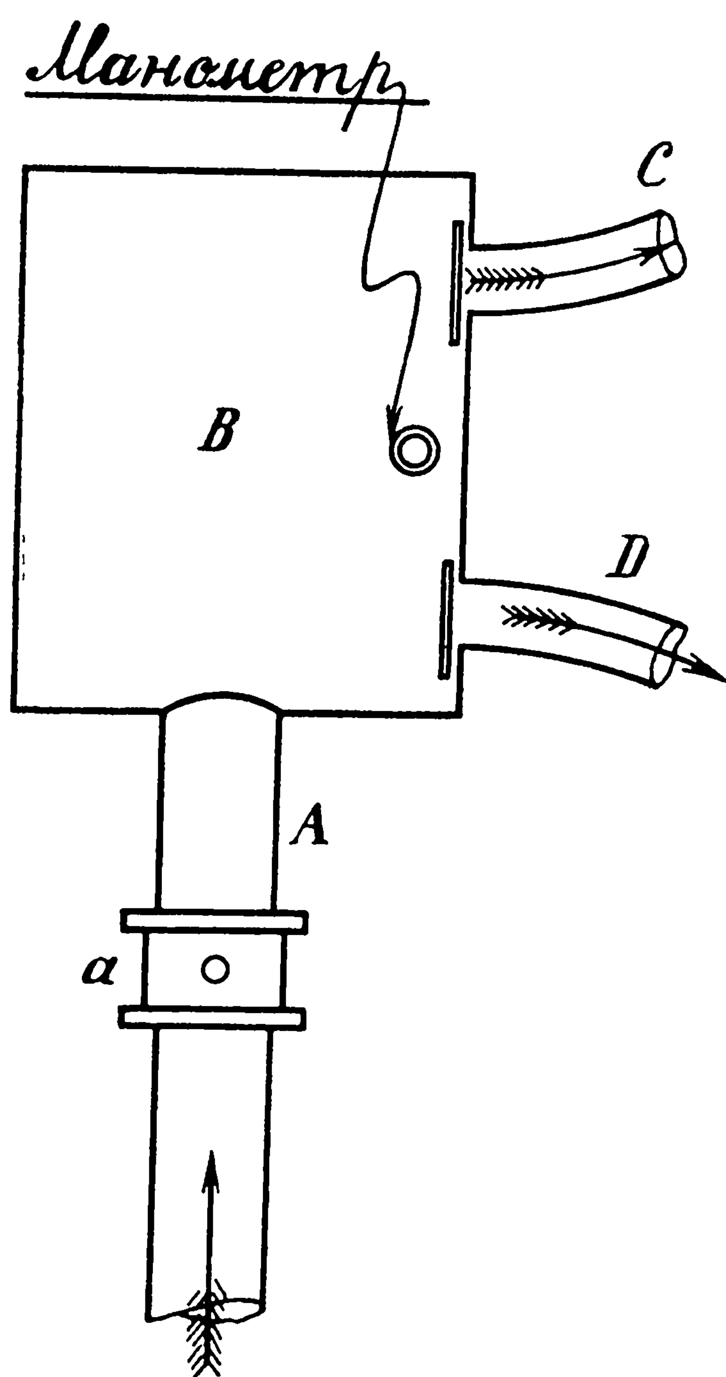
Постановку такого клапана я счел необходимым сначала совсем в других видах. Я уже упомянул, что во время третьего периода при нормальных условиях процесса замечается выбрасывание шлаков и металла в продолжение около $1^1/_2$ мин. Это выбрасывание, происходящее от слишком энергетического горения углерода и, следовательно, от слишком обильного отделения углеродной окиси при некотором удалении от нормального хода в горячую сторону, быстро возрастает и принимает столь значительные размеры, что ведет к потере металла в количестве до 10%, а потому в видах экономии я счел необходимым предупредить такое выбрасывание некоторым уменьшением давления воздуха в то время, когда замечается появление выплескивания.

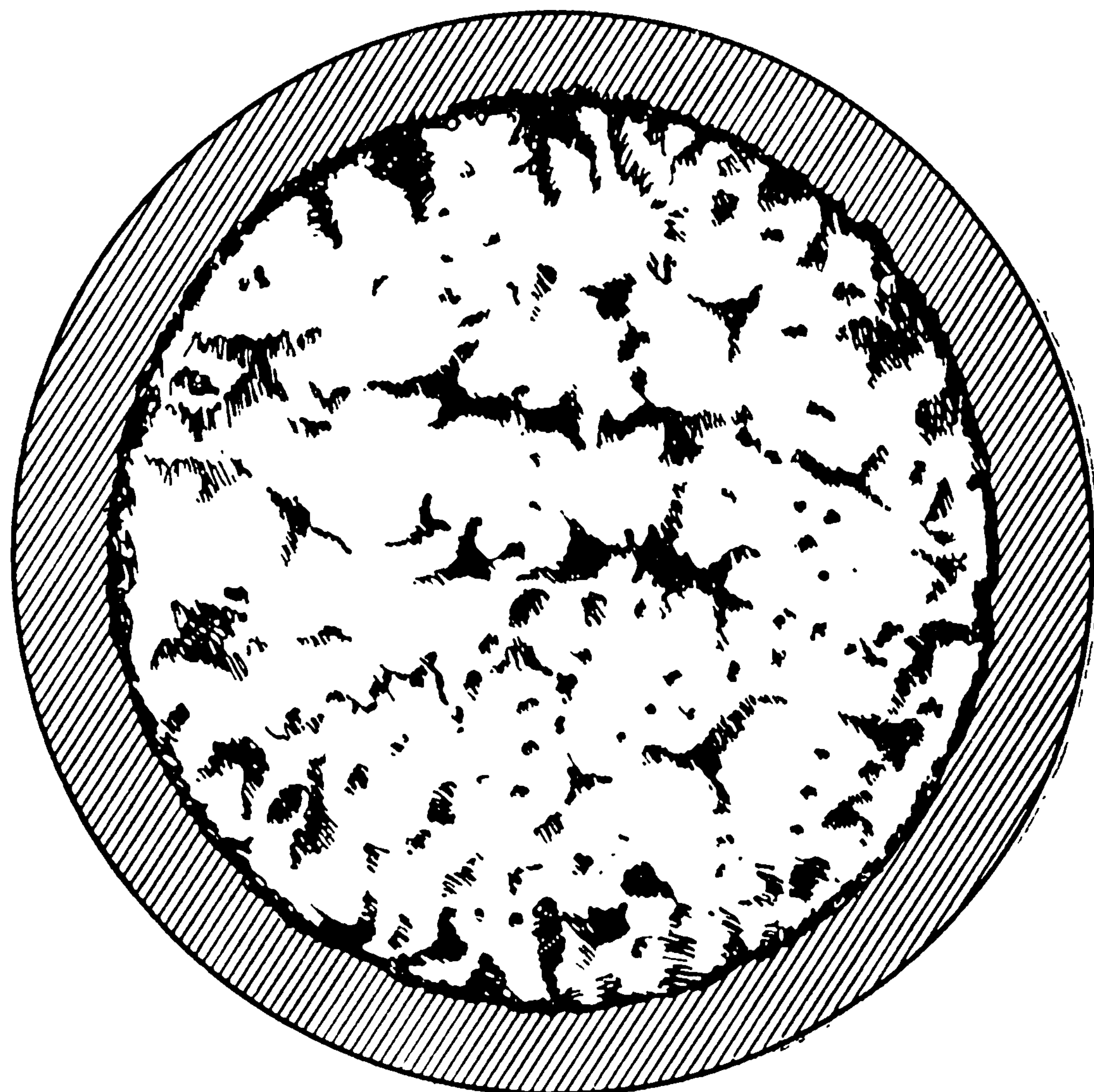
Нужно заметить, что обстоятельство это обращало на себя внимание в Швеции, где при малом содержании кремния в чугунах процесс не мог быть слишком горячим и очень походил на тот, который я описал как нормальный. Боман в своем сочинении «Das Bessemern in Schweden» упоминает об этом обстоятельстве, говоря, что для предупреждения потери металла на шведских заводах в воздуходувной трубе делается отверстие внаружу, прикрываемое клапаном, так что стоит только пустить несколько воздуха на волю чрез этот клапан, чтобы уменьшить давление в трубе. Но такой способ уменьшения давления в трубе вреден для воздуходувной машины, так как в случае большого понижения давления она принимает такой ускоренный ход, что можно опасаться за поломки.

Поставленный мною тормозной клапан представлен на фиг. 1 (табл. V). A — труба, ведущая воздух в общую воздушную коробку B, из которой идут трубы C и D к одной и другой ретортам. В устьях труб C и D помещены клапаны, открываемые по очереди, смотря по тому, какая реторта работает. В трубе A я поместил клапан a; устройство его отличается от обыкновенного тормозного клапана только тем, что крылья его не закрывают вполне всего сечения трубы. Фиг. 2 представляет этот клапан, вычерченный отдельно; сумма площадей промежутков b и b, остающихся между краями клапана и внутренней окружностью трубы, равна $^1/_4$ площади сечения трубы. Я сделал это для того, чтобы в забывчивости никогда не произошло полного припирания воздуха, так как это повело бы к про-

[6] В хороших сортах стали, по нашему мнению, содержание кремния ни в каком случае не должно превышать 0,1%.

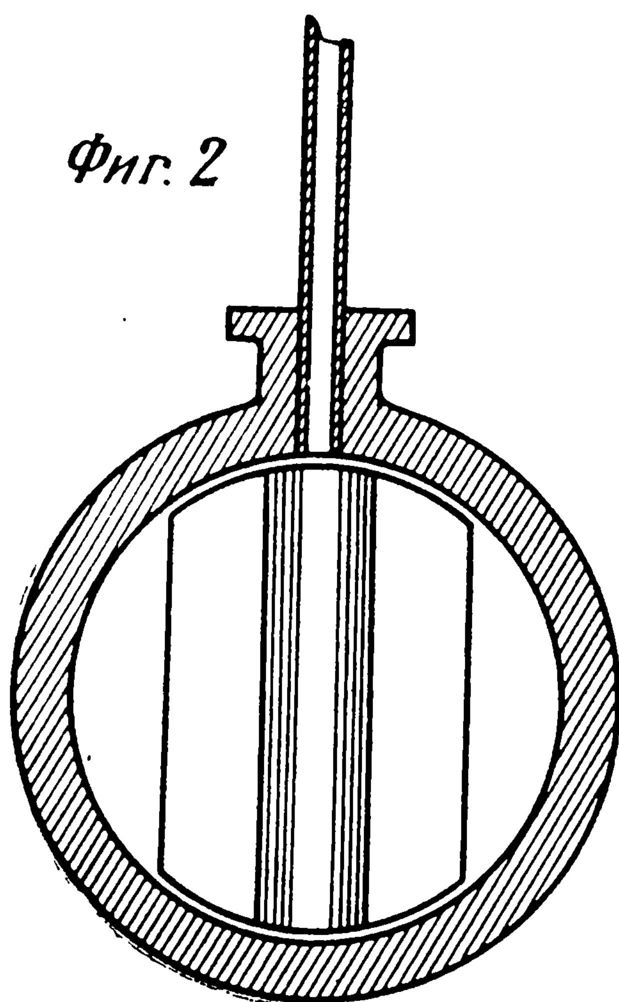
Фиг. 1



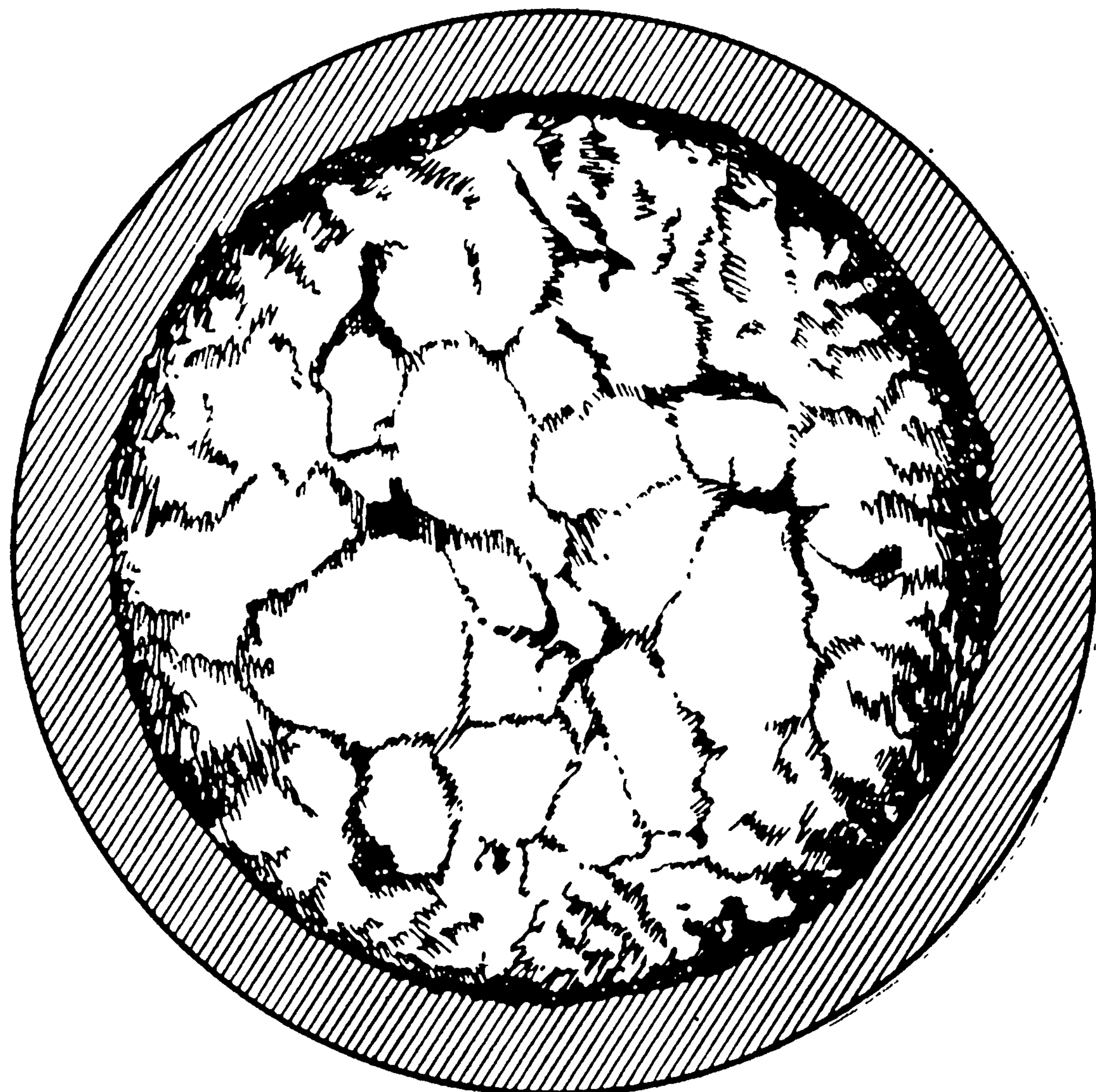


Фиг. 3

Фиг. 2

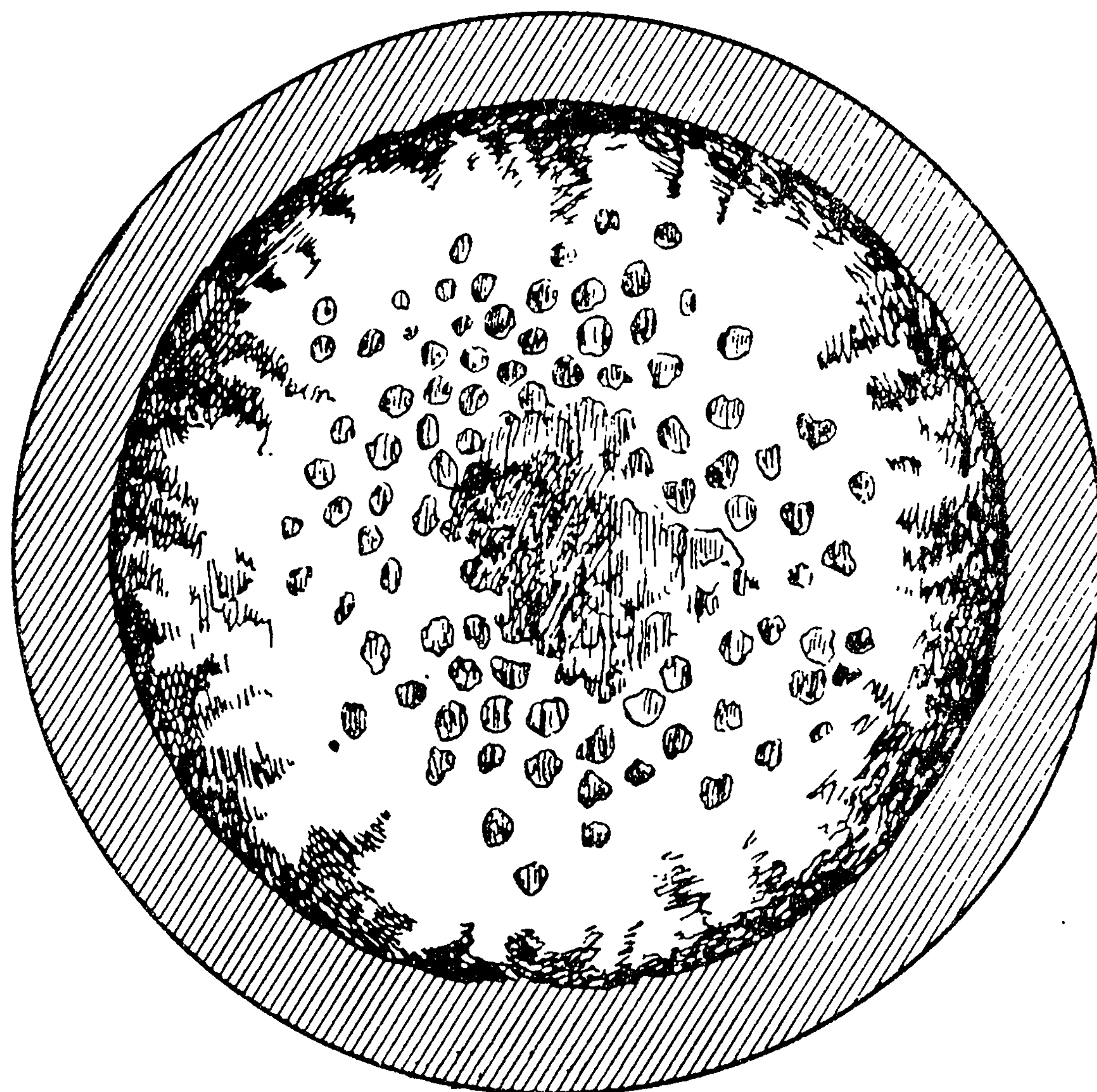


Фиг. 4

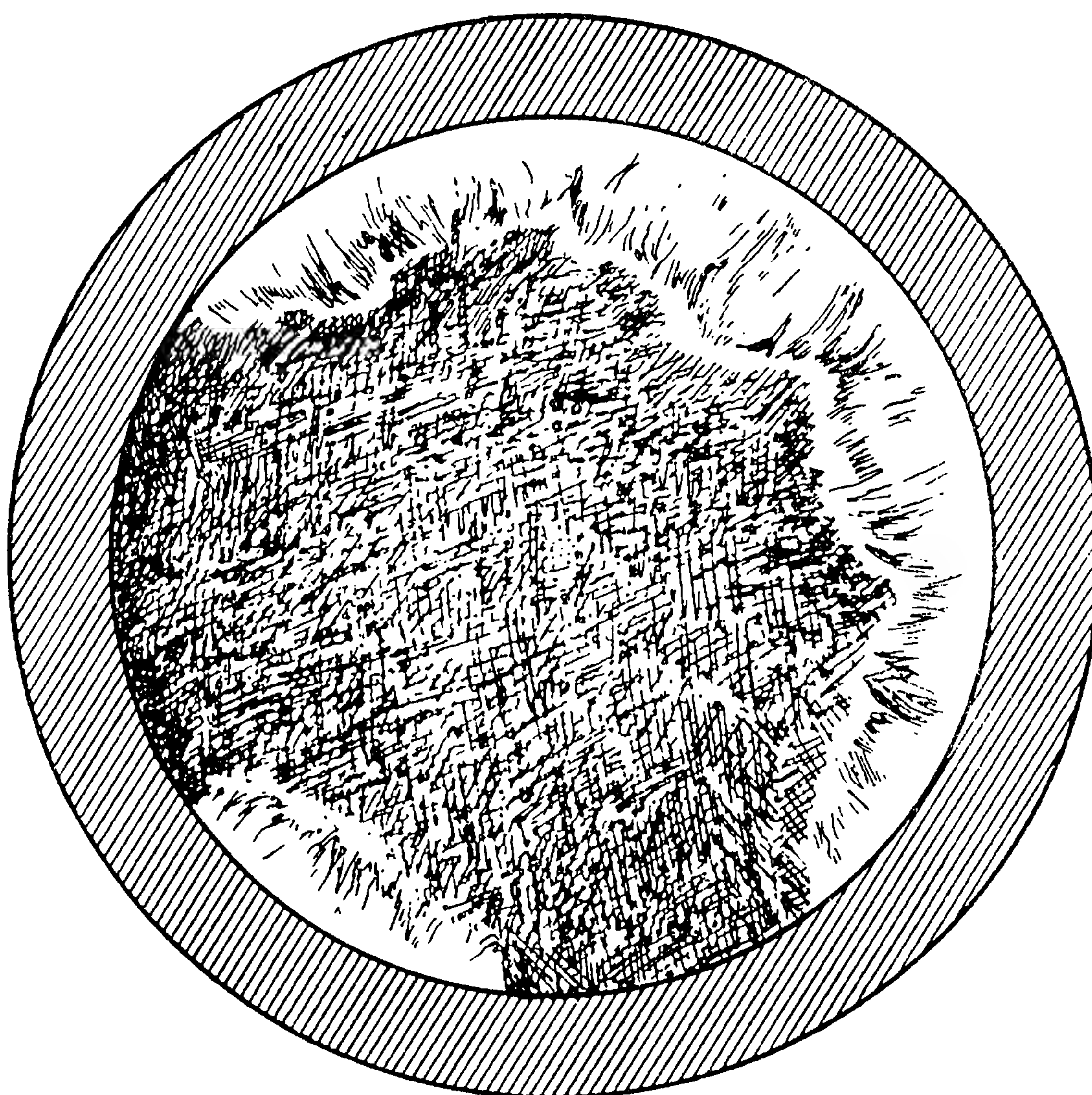


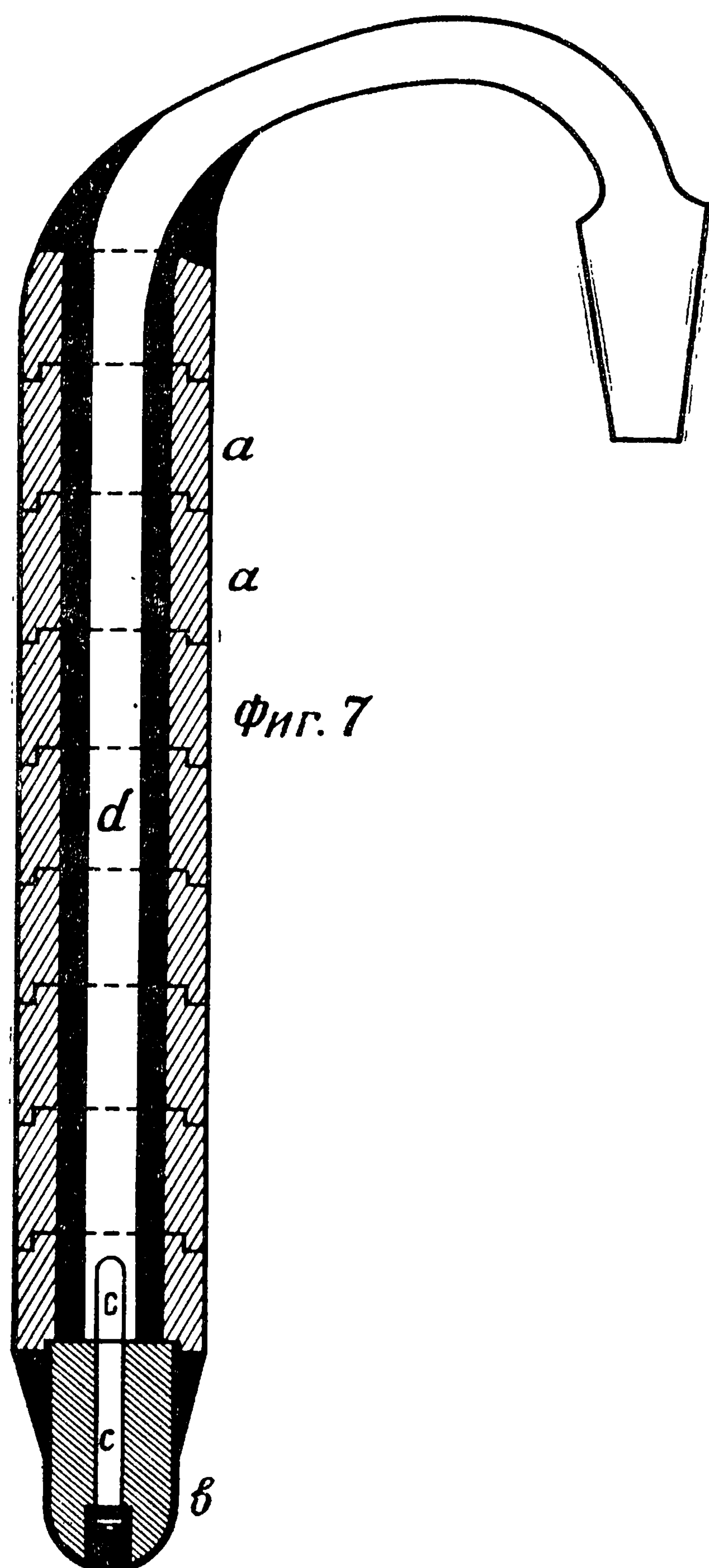
Фиг. 3, 4, 5 и 6 в 1/5 натур. велич.

Фиг. 5



Фиг. 6





Фиг. 7

теканию металла из реторты сквозь фурмы в воздушную коробку. Отношение такой свободной площади к площади всей трубы вышло вполне достаточно, так как при полном ходе машины, дающей при открытом клапане давление в воздушной коробке 22 фунта на кв. дюйм при совсем затворенном клапане *a*, давление в этой коробке понижается до 14 фунтов; хотя в некоторых особенных случаях давление нужно понижать до 10 фунтов, как будет сказано ниже, но тогда можно прибегнуть к небольшому открытию клапана от недействующей реторты.

Припирая таким клапаном воздушную трубу во время выбрасывания третьего периода, можно совершенно избежать его, не нарушая хода процесса. При таком предупреждении выбрасывания я заметил, что продолженное уменьшение давления без нужды на 3 или 4 мин. превращало нормальный ход процесса в холодный. Это обстоятельство и послужило мне указанием, как управляться со слишком горячим процессом; в самом деле, как только замечается в начале второго периода, что процесс идет слишком горячо, то стоит только сейчас же понизить давление до 17—15 фунтов и держать так до тех пор, пока будет ясно заметно, что явления, характеризующие горячий ход, переходят постепенно в те явления, которые отвечают нормальному процессу. Так, например, пламя из прозрачного постепенно переходит в полупрозрачное; шум третьего периода увеличивается; выбрасывание, обыкновенно не наступающее при слишком горячем ходе, наступает своевременно при ослабленном давлении.

Выше было замечено, что при некотором уклонении от нормального хода в горячую сторону выбрасывание третьего периода значительно возрастает, а при большом уклонении к типическому горячему ходу выбрасывания не замечается; поэтому при обратном переходе, от слишком горячего процесса к нормальному, нельзя миновать *очень сильного* выбрасывания, если меры к охлаждению процесса приняты поздно, т. е. если не удалось перевести горячий ход в нормальный ранее начала третьего периода. В таких случаях недостаточно припереть тормозной клапан, а нужно еще отворить клапан в пустую реторту и понизить давление до 12—10 фунтов на кв. дюйм, чтобы предупредить выбрасывание. Конец процесса уже ясно показывает, что цель достигнута; признаки четвертого периода ясны и все затем следующие явления, как при вливании зеркального чугуна, при разливке стали и т. д., указывают, что бывший сначала горячий процесс перешел в нормальный. Качество стали и анализ ее также указывают, что процесс вошел в нормальные условия; количество кремния может быть таким образом уменьшено до следов.

С другой стороны, применением обратного приема для превращения холодного процесса в более горячий, именно усиливанием вдувания, действительно удается из холодного хода получить нормальный; стоит только в начале второго периода или, вернее, с того момента, когда фурменные отверстия освободятся от настылей и давление воздуха станет понижаться, усилить ход машины, и если в третьем периоде получаются признаки выплескивания, то уже можно считать цель достигнутой и быть уверенным, что настылей в ковше не будет и металл будет обладать всеми хорошими качествами нормального хода.

Считаю необходимым заметить, что припирание клапана или уменьшение давления нужно производить с осторожностью, вполне уверившись в необходимости этого маневра. Так, например, по наступлении третьего периода и при холодном ходе вылетают из горла крупные капли металла и клочки шлаков; если это принять за настоящее выбрасывание и уменьшать давление, то процесс будет еще более холодным; если же наступает действительно выплескивание, то припиранием клапана нужно только следить за тем, чтобы не было напрасной потери металла, и по миновании извержений тотчас же понемногу отворять клапан.

Характеристический признак удачного перехода очень горячего процесса в нормальный помощью уменьшения давления состоит в том, что в третьем периоде с открыванием клапана шум пламени сильно возрастает, а с припиранием сильно понижается; если этого нет, то можно смело продолжать понижать давление, не опасаясь застужения процесса. Во всяком случае, нужно обращать внимание на совокупность вышеуказанных явлений, характеризующих тот или другой ход процесса.

Теперь я желал бы обратить внимание на пользование избытком теплоты при горячем ходе процесса. При первых же опытах Бессемера обнаружилось, что чугуны с малым содержанием кремния не могли идти на бессемерование вследствие того, что давали очень холодные продукты. Оттого на первых же порах стали сильно заботиться о том, чтобы пускаемые в обработку чугуны содержали как можно больше кремния как главного источника теплоты во время бессемерования. Явились специальные сорта чугуна, по преимуществу в Кумберланде, выплавленного из гематитов, на лучшем коксе и с большим содержанием кремния. В первых номерах кумберландских марок содержание кремния доводят до 3,5—4,5%. Понятно, что, обрабатывая богатый кремнием чугун, получают сталь, сильно перегретую. Как мы уже видели, слишком горячий ход процесса, помимо ухудшения качеств полученного металла, имеет еще важное неудобство, именно, что отлитые болванки привариваются к формам и в особенности страдают днища изложниц. Для того чтобы пользоваться таким избытком теплоты, на многих заводах начали употреблять некоторую часть железной и стальной ломи, прибавляемой во время процесса в холодном виде, иногда бросаемой в реторту в начале процесса, иногда в конце процесса, иногда после вливания зеркального чугуна и — самое нерациональное из всех — во время разливки стали по изложницам. На некоторых заводах вставляют рельсовые отрезки прямо в форму пред заливкой ее сталью в надежде, что вливаемая сталь при избытке теплоты приварится к вставляемому обрезку рельса; этот последний, будучи заключен в самой сердцевине болванки, при прокатке полученного слитка будет тянуться вместе с болванкой.

Прибавка холодных обрезков и обломков рельс к продукту, получаемому из богатых кремнием чугунов, на некоторых заводах доведена до 20% обрабатываемой массы. По моему мнению, такое пользование избытком теплоты крайне нерационально, так как слишком горячий ход процесса уже испортил продукт, и прибавлением холодных обрезков можно только понизить температуру стали, и болванки не будут привариваться

к стенкам изложниц, но уже качество полученной стали не изменится, количество оставшегося кремния в стали не уменьшится.

По нашему мнению, следовало бы пользоваться большим количеством кремния в чугуне несколько иначе. Правда, что при тех условиях, какие существуют в настоящее время, например, на английских заводах, нельзя бессемеровать чугун с содержанием меньше 1,5% кремния, — там даже ставят как minimum 2% кремния; но это зависит от тех условий, которые там существуют, а именно: недостаточная сила воздуходувных машин, тонкие фурменные отверстия и малое их число. Если мы взглянем на Швецию, где приходится перерабатывать чугуны, выплавленные на древесном угле и содержащие не более 1% кремния, то увидим, что там для возвышения температуры металла во время процесса употребляются самые действительные средства; так, количество вдуваемого воздуха в минуту на тонну чугуна в Швеции почти в два раза более, и процесс, продолжающийся в Англии около 20 мин., в Швеции оканчивается в 5 мин.; с другой стороны, для предупреждения затягивания фурменных отверстий в первом периоде диаметр их значительно увеличивают, доводя его иногда до 20 *мм*.

По нашему мнению, там, где в бессемеровский аппарат чугун вливается прямо из доменных печей, — пускать в дело остатки от рельсов, шин и т. п. изделий можно очень просто, забрасывая эти обрезки вместе с шихтою в домну. Нужно заметить, что заброшенные таким образом железные и стальные обрезки, проходя через домну, обуглеродятся и что как это обуглероживание, так и расплавление потребуют немногим большее количество теплоты против теоретически необходимого, так как доменная печь в настоящее время есть самый экономический аппарат для обуглероживания и расплавления железа. Там же, где бессемеровский аппарат питается чугуном, переплавляемым в вагранках, — никоим образом не следует портить однородность металла забрасыванием холодных обрезков в готовую бессемеровскую сталь; напротив, следует бросать их вместе с чугуном в вагранку. Чтобы выяснить действительную пользу такого способа переплавления обрезков, я сделал следующий ряд опытов в этом направлении.

В прошлый раз я привел состав обыкновенно употребляемой шихты чугуна для бессемерования на Обуховском заводе, причем сообщил и химический анализ выпуска из вагранки (плавка № 375). Позднее, когда пошла в дело другая партия кумберландского чугуна Harrington, с 3,5% кремния, шихта, составленная следующим образом: 110 пудов кумберландского гематитового чугуна, 130 пудов шведского чугуна с 1% кремния и 55 пудов стальной ломи, давала из вагранки металл следующего среднего состава ‹в%›:

углерода	кремния	марганца
4,05	1,63	0,20

При обработке этого металла получается нормальный ход процесса. Для того чтобы попробовать, сколько еще можно увеличить стальной ломи при переплавке в вагранке, я сделал следующие испытания с кумберландским чугуном, содержащим около 4,5% кремния. Плавки № 695, 696, 698 и 699

составлены из следующей шихты: шведского чугуна 100 пудов, кумберландского 120, стальной ломи 75 пудов. Таким образом, 10 пудов кумберландского чугуна и 20 пудов стальной ломи заменили 30 пудов шведского чугуна. Процесс шел горячее нормального; выбрасывание в третьем периоде было очень сильно, а потому я сделал следующие изменения. Плавки № 700, 701, 702 и 703 были сделаны так: взято 90 пудов шведского, 120 пудов кумберландского и 85 пудов стальной ломи; следовательно, 10 пудов шведского чугуна было заменено 10-ю пудами стальной ломи; ход процесса оказался нормальным.

Выпуск из вагранки имел следующий результат ‹в %›:

углерода	кремния	марганца
3,90	1,95	0,19

Видя такие результаты, я нашел возможным идти еще далее в прибавлении стальной ломи. № 704 составлен следующим образом: шведского 50 пудов, кумберландского 130 пудов и стальной ломи 115 пудов. Таким образом, за счет увеличения количества кумберландского чугуна десятью пудами я счел возможным заменить 40 пудов шведского чугуна 30-ю пудами стальной ломи. Несмотря на такое большое количество стальной ломи, процесс был так горяч, что подходил под тип горячего процесса без выбрасывания в третьем периоде.

Основываясь на таком исходе, я сделал следующий опыт: № 717 — 130 пудов кумберландского чугуна и 150 пудов стальной ломи; таким образом сразу заменил весь шведский чугун 50-ю пудами стальной ломи. Процесс, как по явлениям, его сопровождавшим, так и по результату, не отличался от нормального; только продолжительность первого периода заметно уменьшилась. От начала дутья до появления линии *D* прошло $2^1/_2$ мин.; второй период продолжался $1^1/_2$ мин.; а весь процесс $9^1/_2$ мин.; машина сделала 253 оборота. Анализ чугуна, выпущенного из вагранки, дал следующие результаты ‹в %›:

	углерода	кремния	марганца
№ 717	4,40	1,53	0,11

Такой исход опытов показывает уже прямо, каким образом следует пользоваться чугунами с большим содержанием кремния. Если в данном случае, при чугуне с 4,5% кремния, можно было употреблять в дело почти 54% стальной ломи, то, конечно, при чугунах с 5% можно далеко перейти за эти пределы, и это, по моему мнению, самый рациональный способ пользования избытком кремния, так как при этом не только что громадное количество рельсовых обрезков может идти в дело, но вместе с тем гарантируется и получение стали высоких качеств.

Из приведенного выше анализа видно, что нет основания бояться уменьшения углерода в смеси от прибавления большого количества железной и стальной ломи. В данном случае прибавленная ломь содержала средним числом приблизительно ‹в %›:

углерода	кремния	марганца
0,30	0,05	0,25

а величина кусков заключалась между 30 и 50 фунтами; следовательно, цементация ломи во время плавки в вагранке весьма велика и железо совершенно насыщается углеродом, несмотря на то, что плавка продолжается только 50 мин.

Конечно, для получения таких результатов на английских заводах нужно будет несколько увеличить силу воздуходувных машин и увеличить диаметр фурменных отверстий, но такое изменение в устройстве ничтожно сравнительно с теми выгодами, какие приобретут бессемеровские заводчики, получив возможность все количество рельсовых обрезков без всяких затруднений обращать вновь в бессемеровскую сталь.

Мне кажется, что ввиду таких результатов ценность бессемеровской стали должна еще более понизиться; возможность бессемеровать обыкновенные передельные чугуны, которые содержат обыкновенно от 1—1,25% кремния, сразу понизит цену сырого материала, так как специальные бессемеровские чугуны, содержащие около 4% кремния, стоят на рынке около 5—8 шиллингов за тонну, дороже обыкновенных передельных чугунов лучших марок. С другой стороны, передел таких чугунов ведет к уменьшению угара, так как вместо 4% кремния нужно выжечь только один; это, в свою очередь, ведет к значительному уменьшению расхода на движущую силу, так как вместо 20 мин. процесс может продолжаться только 10 мин.

В дополнение к описанным опытам приведу результаты плавки № 805, сделанной на саткинском чугуне. В вагранку заброшено 280 пудов саткинского чугуна; выпуск из вагранки имел следующий состав (по анализу в заводской лаборатории) ‹в %›:

	углерода	кремния	марганца
№ 805	3,78	0,81	0,53

Процесс шел очень хорошо; продолжительность первого периода была $^1/_2$ мин., второй период продолжался 2 мин., а весь процесс — $7^1/_4$ мин.; машина сделала 201 оборот.

Опираясь на многочисленные опыты, произведенные на Обуховском заводе с чугунами различного состава и местностей (английские, шведские, уральские, финляндские), я могу сделать следующие выводы:

1) Для получения бессемеровской стали высоких качеств нет надобности в каких-либо специальных сортах чугуна, лишь бы он не содержал большого количества серы, фосфора, меди и других вредных примесей. Как наибольший предел *для суммы* всех подобных элементов можно считать 0,1%, а *для каждого в отдельности* не более 0,05%.

2) Полезные составные части чугуна, как кремний, марганец, в видах экономии производства, а именно: меньшей стоимости чугуна, меньшей траты на угар и меньшего расхода на движущую силу при процессе, не должны входить в количестве, значительно превышающем необходимое для развития надлежащей температуры. Это последнее условие вполне достигается даже для самых мягких номеров стали, если *сумма* обоих элементов колеблется около 1,5%. Чтобы чугун был жидок, нужно заботиться о его спелости, т. е. возможно большем содержании в нем углерода.

3) Так как при небольшом содержании кремния в реторте происходит весьма сильное вскипание, то полезно увеличивать отношение внутреннего объема реторты к объему перерабатываемого чугуна до 12.

4) Размеры воздуходувной машины должны быть настолько достаточны, чтобы в случае надобности можно было вдувать в реторту до 45 *м*³ воздуха в минуту на каждую тонну чугуна.

5) Диаметр фурменных отверстий для избежания затягивания их во время первого периода полезно делать не менее 14 *мм*, а сумму площадей фурменных каналов — около 20 *см*² на каждую тонну чугуна.

Действие усиленного вдувания воздуха на возвышение температуры металла объясняется тем, что при сильном вдувании значительное количество кислорода проходит в свободном состоянии сквозь ванну и над ее поверхностью сжигает отделяющуюся из ванны, начиная со второго периода, окись углерода. В третьем периоде усиливанием вдувания можно пользоваться весьма широко, ибо углеродная окись отделяется в изобилии, и тогда внутренность реторты буквально можно превратить в газовую печь; напротив того, в первом периоде чрезмерное вдувание только охладит реторту вследствие недостатка в горючих газах.

Теперь я желал бы остановиться на некоторых обстоятельствах, сопровождающих отливку стали. Как я уже сказал, при отливке очень горячего металла болванки часто привариваются к днищам форм. Это главным образом зависит от того, что струя жидкого металла сильно бьет обо дно. Для того чтобы уменьшить размывание дна струей, следует постоянно перемещать бьющую струю, чтобы каждый раз достигать нового места дна; приваривание удается почти совершенно устранить постоянным передвижением ковша с одного места на другое во время наполнения формы. После отливки сейчас же на поверхность жидкой стали накладывается чугунная крышка для того, чтобы скорее застудить сверху болванки корку и предупредить выделение газов из застывающей стали, иначе болванка выйдет очень пористой и, кроме того, часть металла выльется через край формы.

После отливки стали в изложницу поверхность ее пока остается жидкой, принимает *игру*. Игра поверхности чугуна давно уже обратила на себя внимание некоторых инженеров. Первый, заметивший связь между видом игры поверхности жидкого чугуна и качествами металла, был Шотт (в Ильзебурге). Как ни малозначительно кажется с первого взгляда это обстоятельство, однако оно дает указание литейщикам — как лить металл и в какое время или в какую фазу игры выгоднее всего отливать ту или другую вещь. Не предрешая вперед, к чему может повести исследование игры поверхности жидкой стали, я укажу только на некоторые характеристические особенности этой игры, имеющей тесную связь с ходом процесса и качествами стали. При нормальном ходе процесса, когда в полученной стали или вовсе нет кремния или только следы его, тогда, вслед за отливкою, поверхность жидкости остается чистою металлическою, как ртуть; несколько пузырей, всплывающих наружу, лопаются почти без отделения искр; поверхность металла несколько секунд остается чистой, потом в некоторых местах подергивается легкой матовой пленкой в виде отдельных клочков, то появляющихся, то опять быстро исчезающих и

по форме своей напоминающих узор сети. Фиг. 3 представляет характер рисунка появляющихся матовых пятен; вид и расположение их намекают на образование сомкнутых ясно обозначаемых фигур, которые действительно и получаются при несколько большем содержании кремния, приблизительно от 0,02—0,03%, как это видно на фиг. 4. Игра этой сети идет чрезвычайно быстро и рисунок представляет моментально схваченную сеть, так как фигуры эти непостоянны и быстро сменяются одна другой, удерживая только этот характер.

По прекращении игры поверхность стали вдруг быстро успокаивается, подергивается чрезвычайно тонкой матовой пленкой, которая тотчас же как бы растрескивается на отдельные клочки и каждый из таких клочков образует матовый кружок, так что вся поверхность стали покрывается оспинами (фиг. 5), быстро бегающими взад и вперед, отчасти уничтожающимися и вновь образующимися. Вслед за тем в средине образуется небольшая корка от слипания этих оспин, по краям изложницы образуется кругом настыль; корка и настыль вскоре же соединяются при помощи вновь образующихся оспин, и таким образом получается сплошная застывшая корка.

Сталь, сравнительно холодная, имеет вялую, непродолжительную игру и мелкие, неясные фигуры. С увеличением количества кремния сеть принимает более ясное очертание, каждая петля обозначается более резко и вместе с тем слегка подергивается матовой пленкой; по краям изложницы все поле представляет также матовую пленку. Чем больше кремния осталось в стали, тем более игра поверхности приближается к типической, сопровождающей отливку стали при очень горячем ходе процесса и представленной на фиг. 6. После выливания в изложницу сталь сильно кипит, как, например, кипит вода ключом; кипение направляется от стенок изложницы к центру, выделяя постоянно на поверхность стали матовую накипь, так что вся средина поверхности покрыта сплошной матовой пленой. По окончании кипения, которое прекращается довольно быстро, поверхность стали остается матовою, без всякой игры, как будто уже она застыла и образовалась сплошная корка; сталь, сопровождаемая при отливке такими явлениями, обладает сравнительно дурными качествами, как было сказано выше при описании очень горячего хода процесса.

Говоря о разливке стали, не могу не упомянуть об устройстве стóпора, или стержня, запирающего различное очко ковша. В первое время по введении бессемерования на Обуховском заводе часто случалось, что стопор действовал неисправно и очень много стали проливалось на пол. Такая неудача происходила от отпадения глиняной обмазки стержня, который тотчас же расплавлялся в обнаженном месте и переставал запирать очко.

Для устранения подобной случайности я употребил вместо обмазки обожженные кольца из огнеупорной глины. Фиг. 7 представляет разрез готового стопора: a, a, . . . — кольца из огнеупорного кирпича, одевающие стержень d; нижнее кольцо ложится на пробку b, прикрепляемую к стержню d помощью болта c. Стык колец сделан взакрой для того, чтобы обеспечить непроницаемость шва и вместе с тем чтобы кольца сидели правильно одно на другом и образовали бы цилиндрическую поверхность.

Между кольцами и стержнем оставлено пространство для огнеупорной обмазки, показанной на рисунке черною. Наружный диаметр колец равен $3^1/_2$ дюйма, внутренний $2^1/_4$ дюйма; диаметр стержня $1^3/_8$ дюйма.

Как только был введен такой способ наделки стопора, прекратились и неудачи при разливке стали.

В заключение считаю необходимым дополнить прошлое мое сообщение таблицею линий бессемеровского спектра по тому масштабу, который был приложен к хромолитографированному рисунку спектра третьего периода; таблица эта послужит вместе с тем и исправлением некоторых неточностей в нанесении линий на рисунке ‹рис. 2›.

Таблица линий бессемеровского спектра

Группа	Места линий	Примечание
Li_α C	63,9 68,9	 В спектре не видна
ρ	70,2 73,2 74,0 80,0	
α	83,3 83,5 85,2 86,0 88,8	На рисунке не показана
β	89,6	
γ	92,0 93,5 93,8 95,6 95,9 98,6 99,1	Широкая туманная полоса Обе линии не очень ясны, в туманной полосе (93,5; 93,8)
D	100,0 100,4	
δ	101,5 102,5 104,4 105,0 106,3	
σ	111,2 112,9 113,9	
ε	115,0 115,3 116,6 117,1 119,2 119,6	
ζ	122,0 122,8 123,2	Очень тонкая линия, на рисунке не показана
η	128,2 129,0 130,0 132,3 133,2 135,0 136,0	
E	138,7 143,6	Обе линии очень ярки
Θ	147,5 150,5 152,6 153,3	На рисунке не показана
τ	158,2	
F	185,1	В спектре не видна

12

ИССЛЕДОВАНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ ДО СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ БОЛВАНОК [1*]

(Сообщение в и<мп>. Р<усском> т<ехническом> о<бщест>ве 2 декабря 1878 г.)

Мм. гг.! Предметом сегодняшнего сообщения я выбрал *некоторые исследования над структурою стальных литых болванок.*

В числе материалов, служащих для удовлетворения весьма разнообразных нужд современной промышленности, едва ли не самую выдающуюся роль играет железо, в широком значении этого слова, в виде мягкого ковкого железа, стали и чугуна.

Пока металлургия не обладала средствами приготовлять сталь в больших количествах и дешевыми способами, для удовлетворения нужд промышленности служили по преимуществу чугун и мягкое сварочное железо. Способы обработки каждого из этих двух видов металла в изделия существенно различались между собой. Трудноплавкость мягкого железа при недостатке плавильных средств заставляла прибегать к весьма дорогим и сложным работам: сварке, ковке, прокатке, соединенным с большою тратою топлива и с употреблением сильных механических средств. Сравнительная же легкоплавкость чугуна позволяла заменять трудную работу над металлом обработкою таких мягких материалов, как дерево, глина, песок. Для получения предметов самых причудливых форм из чугуна стоит только сделать модель из дерева, глины, воска и т. п., оттиснуть ее в рыхлом песке и вылить в полученную форму расплавленный чугун, который при отвердевании примет сам собою желаемую форму и размеры. На долю механической работы остается только отделка поверхности, если это нужно; большинство же таких изделий или вовсе не требует никакой отделки, или только в некоторых местах своей поверхности подвергается незначительной механической обработке. Удобства такого способа получения изделий сравнительно со всяким другим так велики, что во всех отраслях промышленности, где только позволяет обрабатываемый материал, прибегают к его посредству.

Когда железная промышленность стала обладать средствами для получения стали в жидком виде, всех возможных качеств, в больших массах и дешевыми путями, прямым последствием таких успехов должно было бы быть применение литейного искусства к получению всевозможных стальных изделий. Однако из многочисленных попыток применить к стали обыкновенный способ отливки изделий в земляные или металлические формы далеко не все увенчались успехом, и в особенности это не удавалось с мягкими сортами стали.

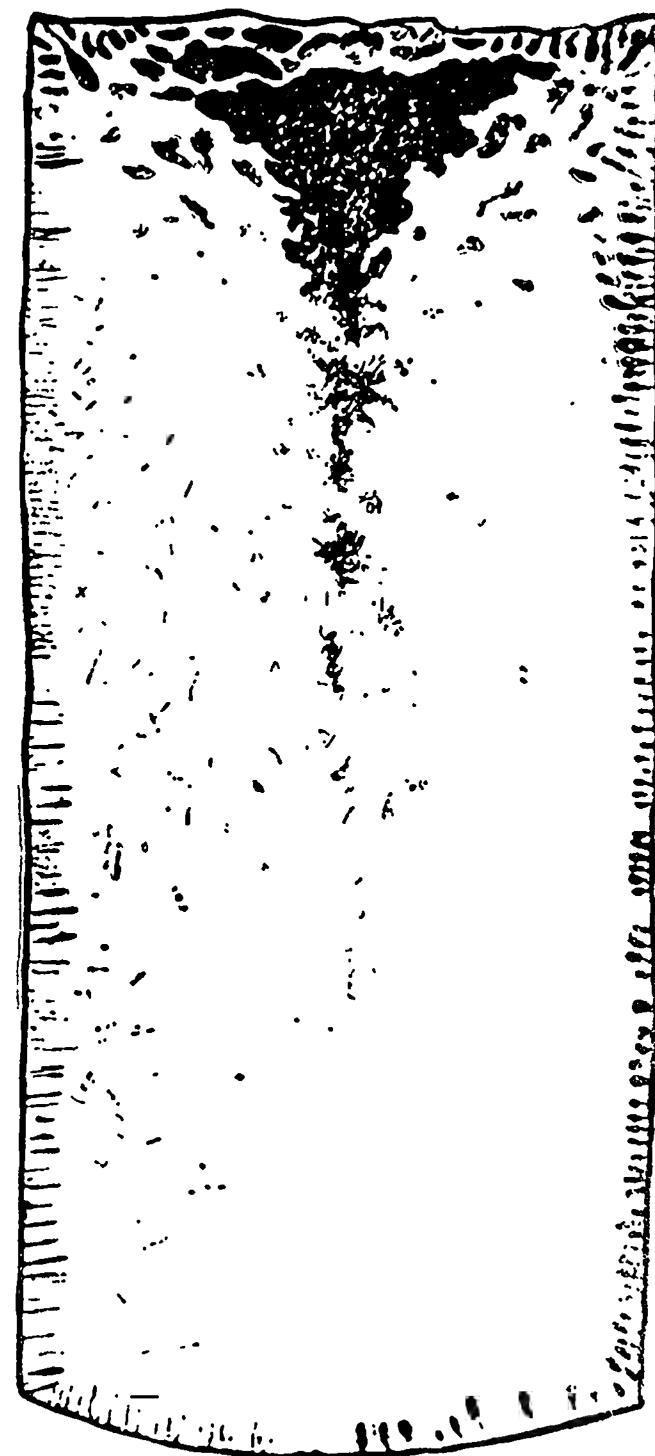
Главнейшим недостатком стальных отливок являлась раковистость как от пузырей, так и от усадочных пустот; а иногда наружные трещины и самое сложение стали не позволяли пускать в дело полученную отливку. Вот причина, почему в большинстве случаев сталелитейщики ограничи-

ваются получением только стального куска самой простой формы — слитка, который служит материалом для выделки изделий при помощи сильных механических средств и с затратой топлива.

Как бы, однако, ни были велики препятствия к достижению вышеуказанной цели, нельзя отказаться от настойчивого преследования ее ввиду тех громадных выгод, какие представляет способ получения предметов отливкой в формы. Но как успех борьбы с каким бы то ни было злом прежде всего лежит в возможно тщательном изучении его, то понятно, какое важное значение имеет в современной стальной промышленности изучение недостатков в литых стальных болванках.

Вот, мм. гг., те несколько слов, которые я хотел предпослать сегодняшнему сообщению, чтобы показать, какое место занимает вопрос о структуре литых стальных болванок в современной стальной промышленности.

Рассмотрим теперь, в чем состоят недостатки стальных слитков. Для этого возьмем самую простую цилиндрическую форму стальной болванки, отлитой в металлическую изложницу. Рисунок на фиг. 1 представляет вертикальный разрез такой болванки. Вместо того чтобы в разрезе видеть сплошную массу, мы видим здесь металлический слиток, проникнутый весьма большим количеством пустот. Около боковой поверхности (с правой стороны рисунка), прикасавшейся к изложнице, мы встречаем множество пузырей, проникающих, смотря по условиям отливки и качествам стали, на более или менее значительную глубину внутрь болванки, отчего наружный слой ее представляется в виде губчатой коры. В верхней части болванки располагается большая пустота в виде неправильной воронки, спускающейся очень низко по оси; пустота эта окружена рыхлостью, т. е. вокруг этой воронки мы видим неплотный металл, проникнутый весьма мелкими пустотами.



Фиг. 1

Рыхлость эта опускается по оси болванки далеко ниже конца воронки, образуя в некоторых местах раковины значительной величины.

По мере удаления от центральных частей болванки рыхлость уменьшается и наконец становится незаметною для глаза, так что некоторая толща металла, заключающаяся между пузыристою корою и рыхлою сердцевиною, представляется в плотном виде.

При некоторых обстоятельствах, о которых скажем после, пузырей в поверхностном слое болванки, отлитой в металлическую форму, вовсе не встречается или только очень мало; тогда место пузыристого слоя

занимает более или менее сильно развитое игольчатое сложение стали (с левой стороны рисунка).

По излому видно, что игольчатый слой состоит из конгломерата неправильных призматических тел, расположенных по направлениям, нормальным к наружной поверхности болванки. Связь между такими призмоидами невелика, так что болванки с таким сложением разламываются сравнительно очень легко, причем излом игольчатого слоя происходит по поверхностям соприкасания призмоидов, имеющим серебристый матовый оттенок.

За игольчатым слоем следует более или менее развитая грануляция или конгломерат неправильных многогранных зерен с матовою серебристою поверхностью, весьма сходною с поверхностью призмоидов игольчатого слоя. Далее, за слоем грануляций, идет некоторая толща плотного металла с блестящим плотным изломом, и затем появляется рыхлость, постепенно увеличивающаяся по мере приближения к оси болванки.

Остановимся теперь по очереди на каждом из упомянутых недостатков.

Простейший из недостатков — это воронкообразная пустота, происходящая от усадки металла при переходе его из жидкого состояния в твердое. Форма этой пустоты совершенно соответствует условиям остывания жидкого металла. Остывание и отвердевание от охлаждающего влияния стенок, конечно, происходит по направлению слоев, огибающих внутренние части формы. По мере того как слои нарастают, горизонт жидкости постепенно понижается, потому что металл уменьшается в объеме и дает место жидкому незастывшему столбу, который при понижении постоянно уменьшается в диаметре. Явление усадочной воронки так хорошо известно в литейном деле, что я считаю лишним вдаваться в дальнейшие подробности по этому предмету.

Пузыри, проникающие наружный слой болванки, представляя один из самых важных недостатков стальных слитков, давно уже служат предметом исследования для многих металлургов. Нельзя сказать, чтобы относительно ближайшей причины появления газов в жидкой стали не существовало различных мнений между исследователями этого вопроса. Так, одни склонны признавать просто растворение печных газов в жидкой стали во время ее плавления; другие утверждают, что газы суть только продукты химических реакций, происходящих между заключающимися в жидкой стали элементами и составными частями стенок плавильных сосудов; третьи ограничивают происхождение газов только взаимной реакцией элементов, содержащихся в расплавленной стали, под влиянием кислорода печных газов или наружного воздуха.

Не будем останавливаться над критическим разбором этих мнений; каждое из них основывается на фактических данных и не может быть вполне отрицаемо. Однако следует прибавить, что каждая из названных причин имеет место наравне с прочими при образовании в стали газов, которые, таким образом, являются результатом их совокупного и одновременного действия.

Что не вызывает разногласий — это именно то, что главную массу выделяющихся газов составляет углеродная окись и что момент наибольшего

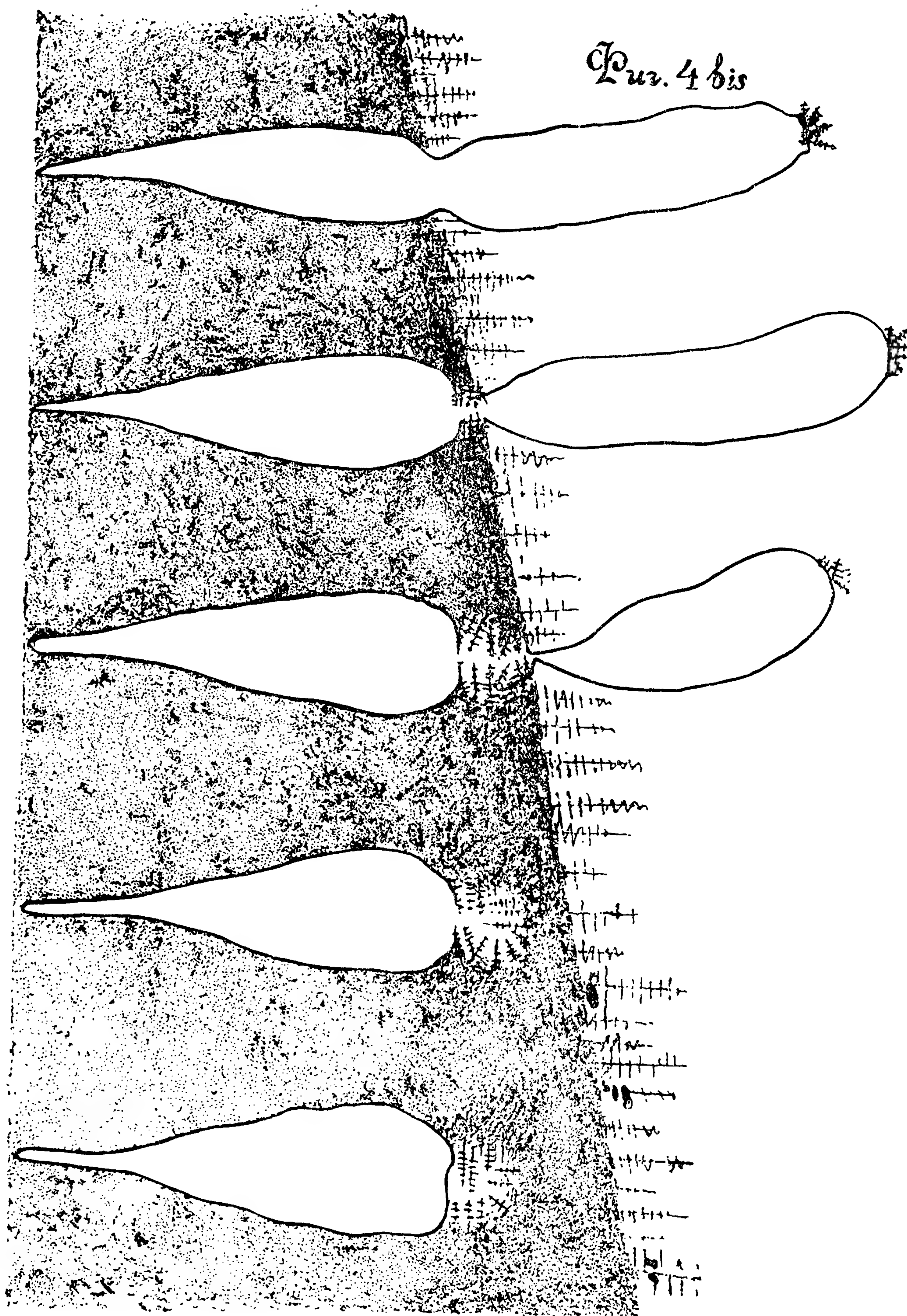
выделения ее непосредственно предшествует переходу стали из жидкого состояния в твердое.

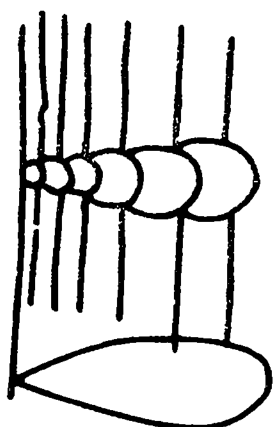
Рассматривая ближе самое явление выделения газов из стали, легко видеть, что оно подчиняется тем же законам, какие управляют выделением их из раствора и в других жидкостях. В стали, как и в другой насыщенной газами жидкости, наиболее сильное отделение газов замечается при взбалтывании и в особенности при переливании из одного сосуда в другой. Так, при выливании стали из бессемеровской реторты в разливной ковш или при выливании из ковша в изложницу происходит сильное вскипание с обильным выделением газов; если б можно было не опасаться остудить сталь и вместе с тем можно было бы защитить ее от окисляющего действия наружного воздуха, то одно такое переливание, повторенное несколько раз, позволило бы удалить почти все газы из стали.

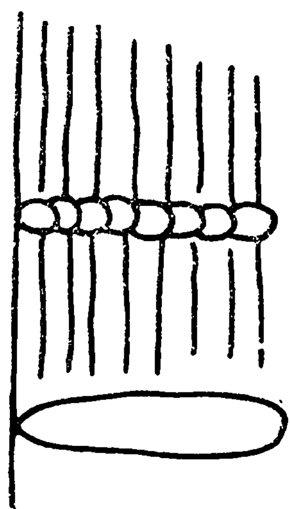
Налитая в изложницу и подвергающаяся охлаждению сталь с первого же момента начинает выделять газы в виде весьма мелких пузырьков, которые прикрепляются к первым приставшим к стенке изложницы и затвердевшим частицам стали. Вследствие свойства растворенных газов выделяться в свободные пространства или полости образовавшихся уже пузырей [1], те мелкие пузыри, которые прикрепились к первым застывшим частицам стали на стенках изложницы, быстро растут от притока к ним газов из соседней с ними жидкой стали. Так как от охлаждающего влияния стенок изложницы затвердевающий слой стали постоянно утолщается, то увеличение объема пузыря может быть только или, по крайней мере, преимущественно на счет увеличения его длины по направлению, нормальному к стенке изложницы. При этом форма пузыря может видоизменяться, смотря по относительной скорости роста пузыря и скорости утолщения застывающего слоя стали. Если преобладает увеличение пузыря, то по мере удаления от стенки изложницы диаметр его увеличивается и пузырь имеет форму конуса, с полушаровым основанием, обращенным к центру болванки (табл. VI, фиг. 2). При слишком быстром росте пузыря сильно выдающаяся выпуклая часть его по временам отрывается от него и всплывает наверх. Если рост пузыря идет в параллель с утолщением затвердевающего слоя стали, тогда пузырь принимает цилиндрическую форму с полушаровым основанием (фиг. 3). Если, наконец, утолщение затвердевающего слоя идет быстрее роста пузыря, тогда пузырь при удлинении постепенно суживается и, наконец, замыкается конической вершиной (фиг. 4). Пузыри этой последней формы, впрочем, чрезвычайно редки.

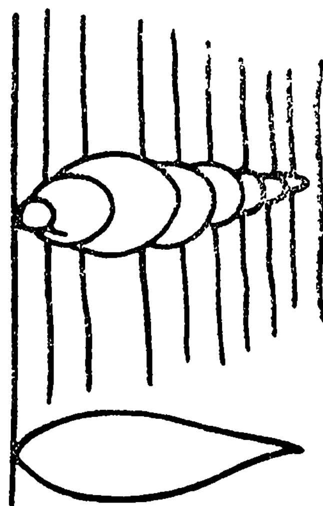
По мере наполнения изложницы давление жидкого столба на нижние слои стали постоянно возрастает, а вместе с тем уменьшается способность газа к выделению, и таким образом прекращается дальнейшее вырастание пузырей в нижних слоях отвердевающего слитка. Пузыри замыкаются, и вновь затвердевающие слои нарастают уже без пузырей, если новое выделение газов не будет вызвано случайным облегчением давления. Здесь необходимо прибавить, что при замыкании пузыря у вершины его образу-

[1] Весьма интересные наблюдения над выделением газов и паров из жидкостей описаны Реомюром, в его «Traité élémentaire sur les fluides expansibles».

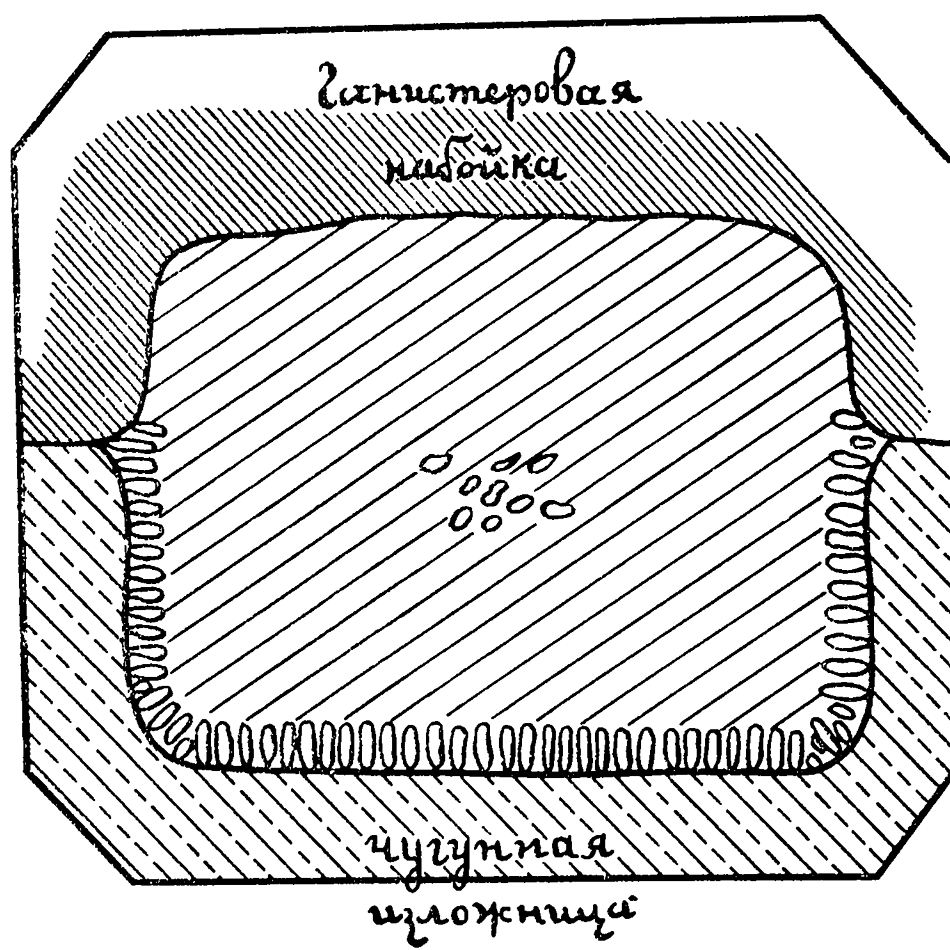


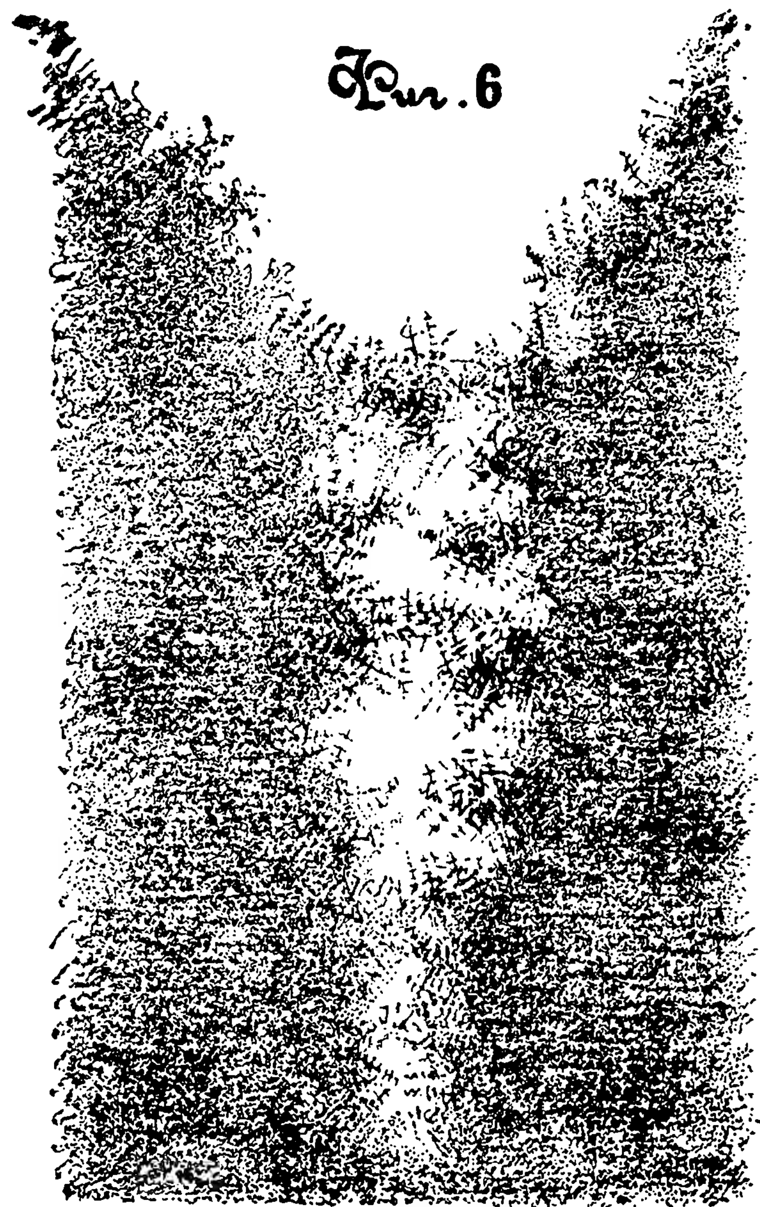

Фиг. 2


Фиг. 3.


Фиг. 4

Фиг. 5.

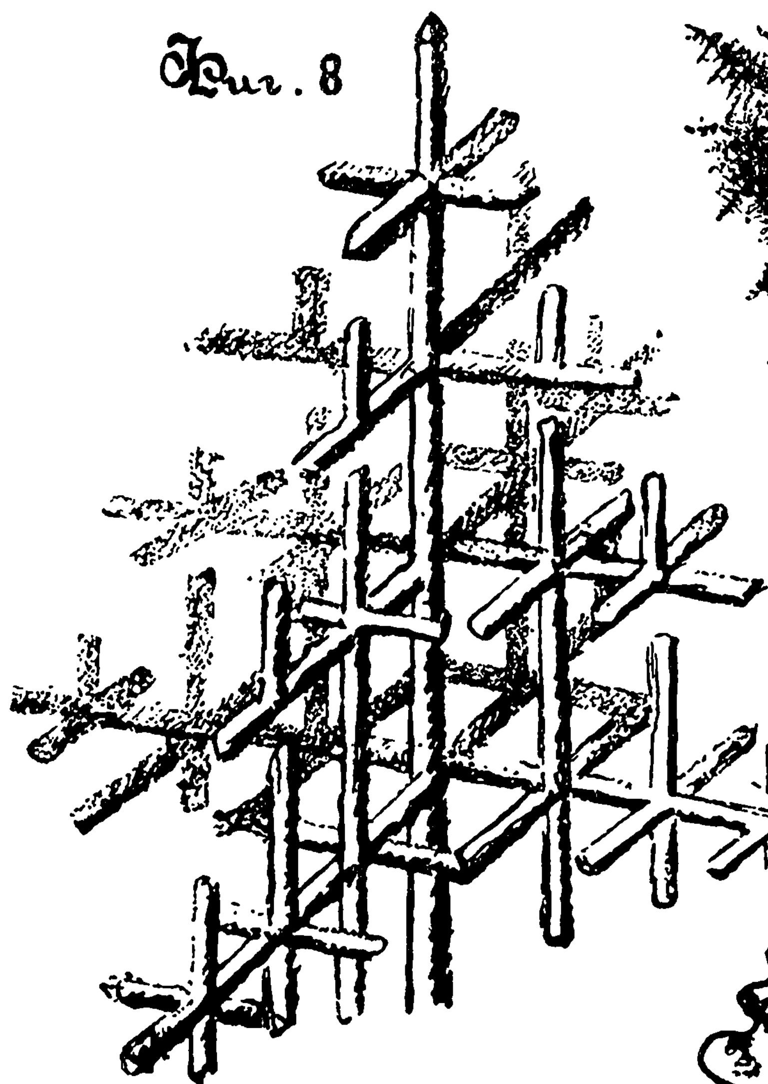


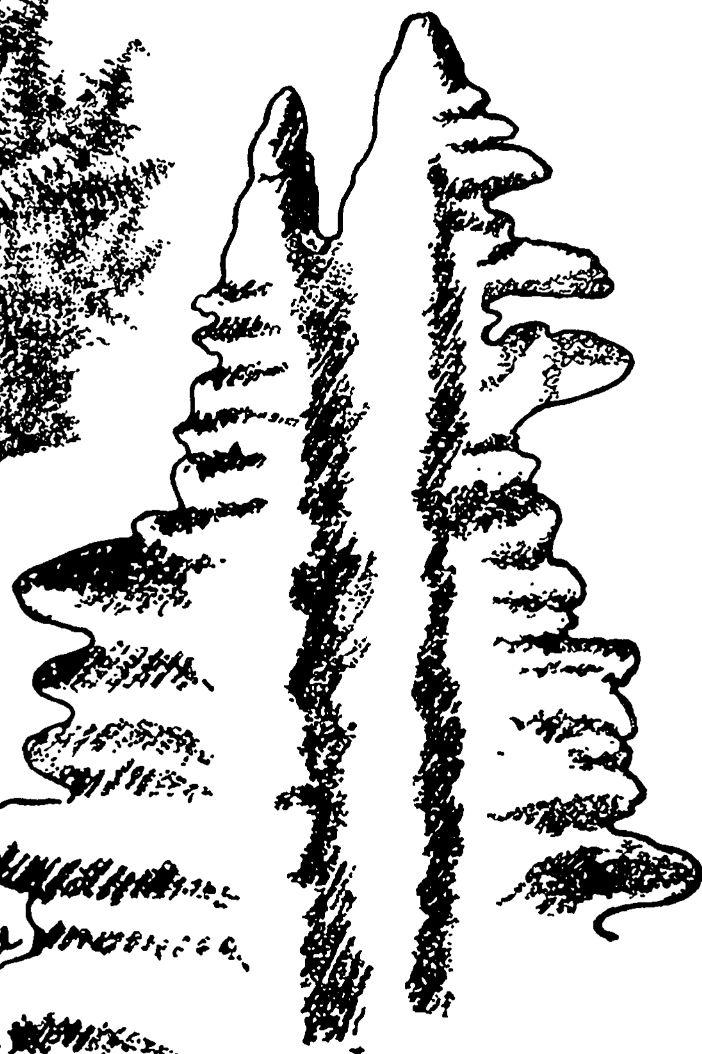

Фиг. 6

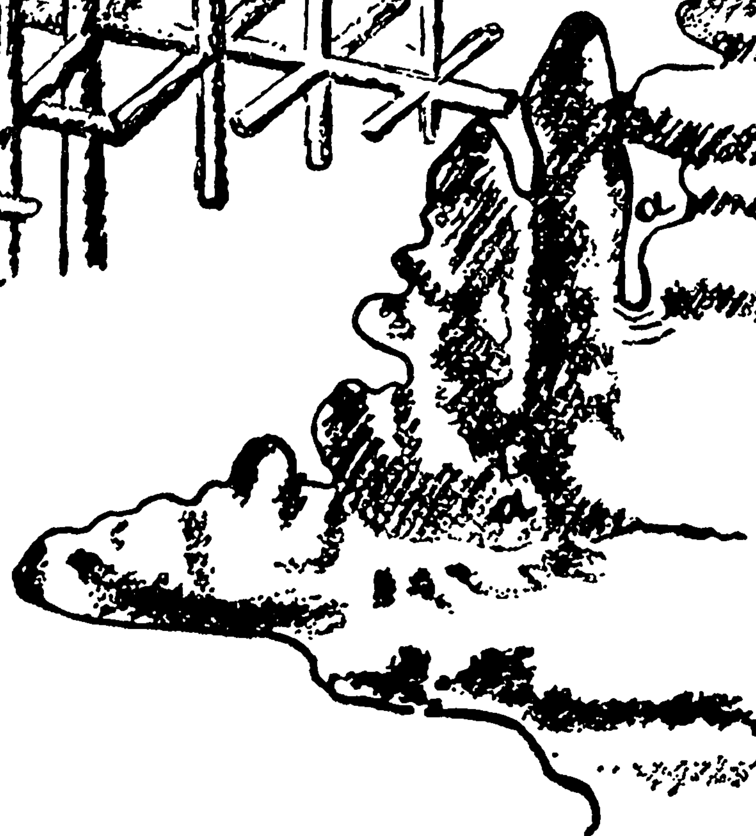
Фиг. 7



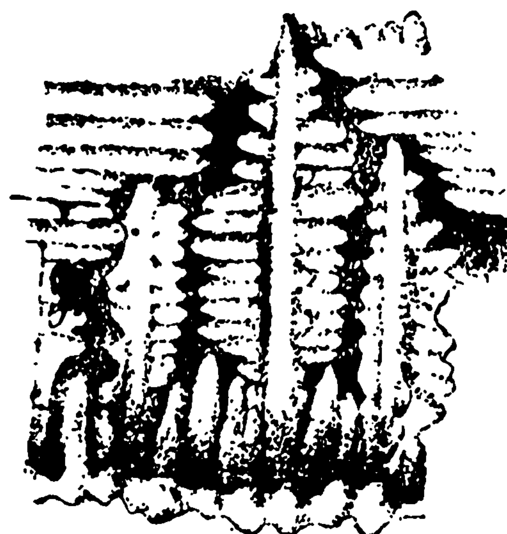
Фиг. 8



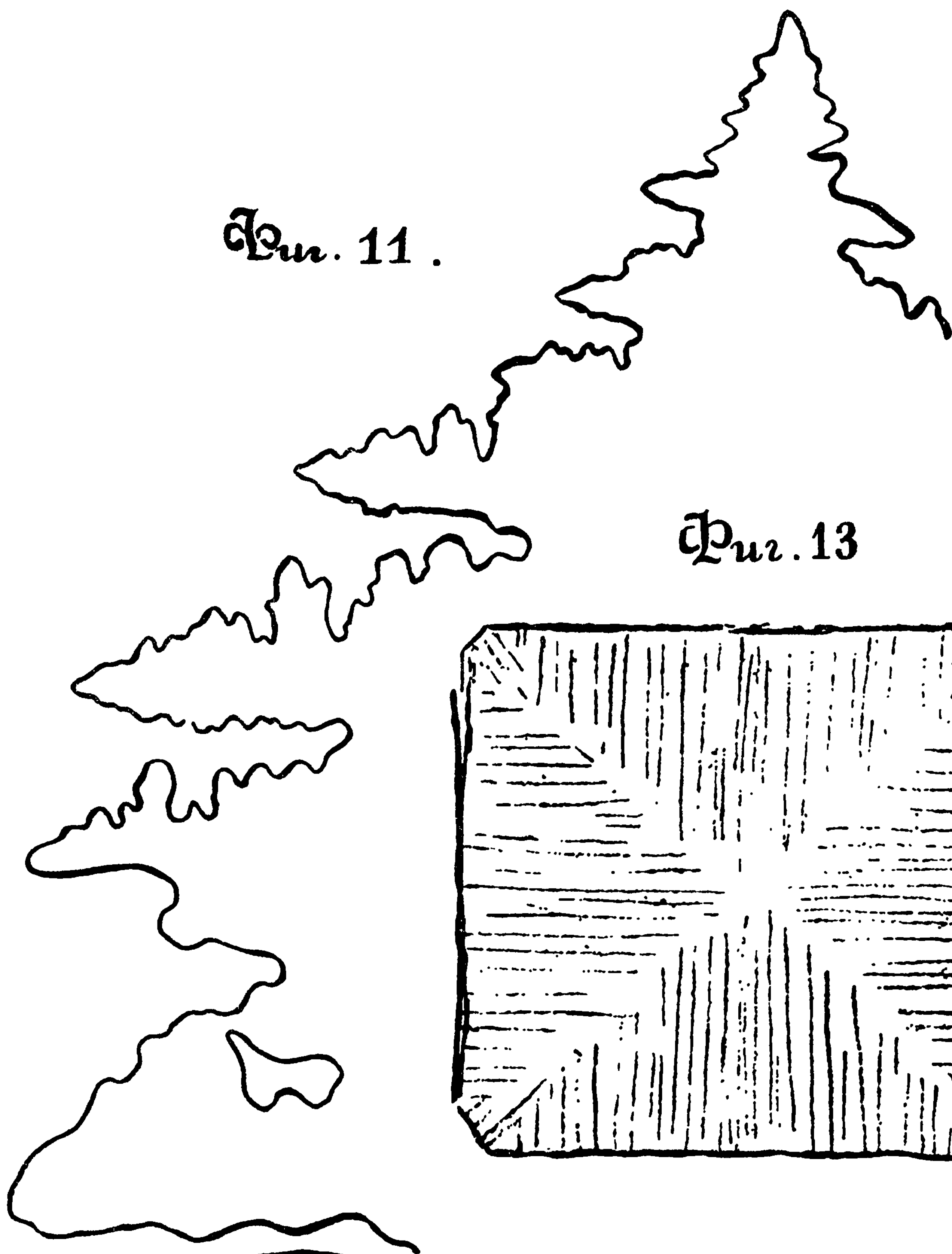



Фиг. 9

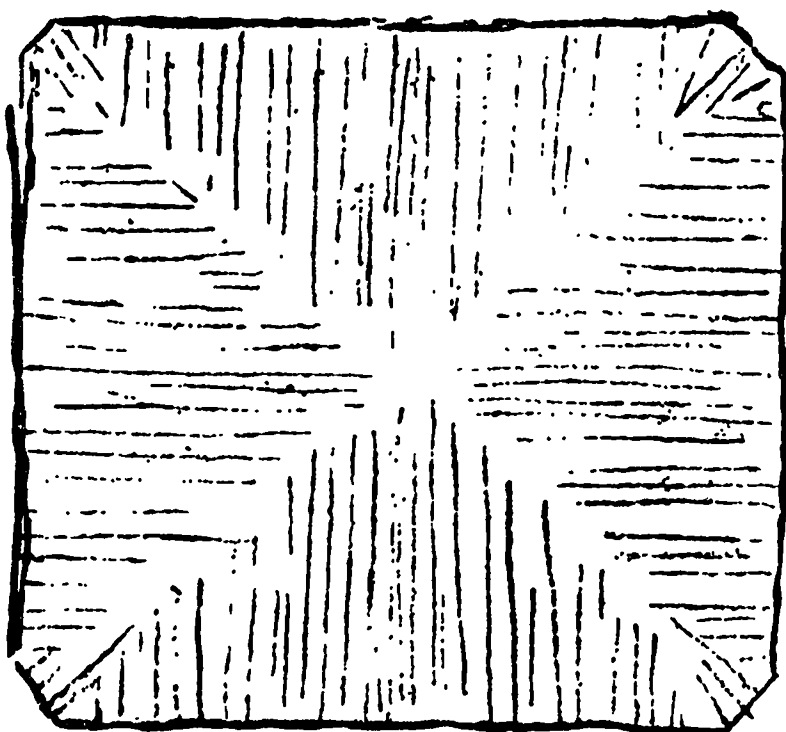
Фиг. 10.



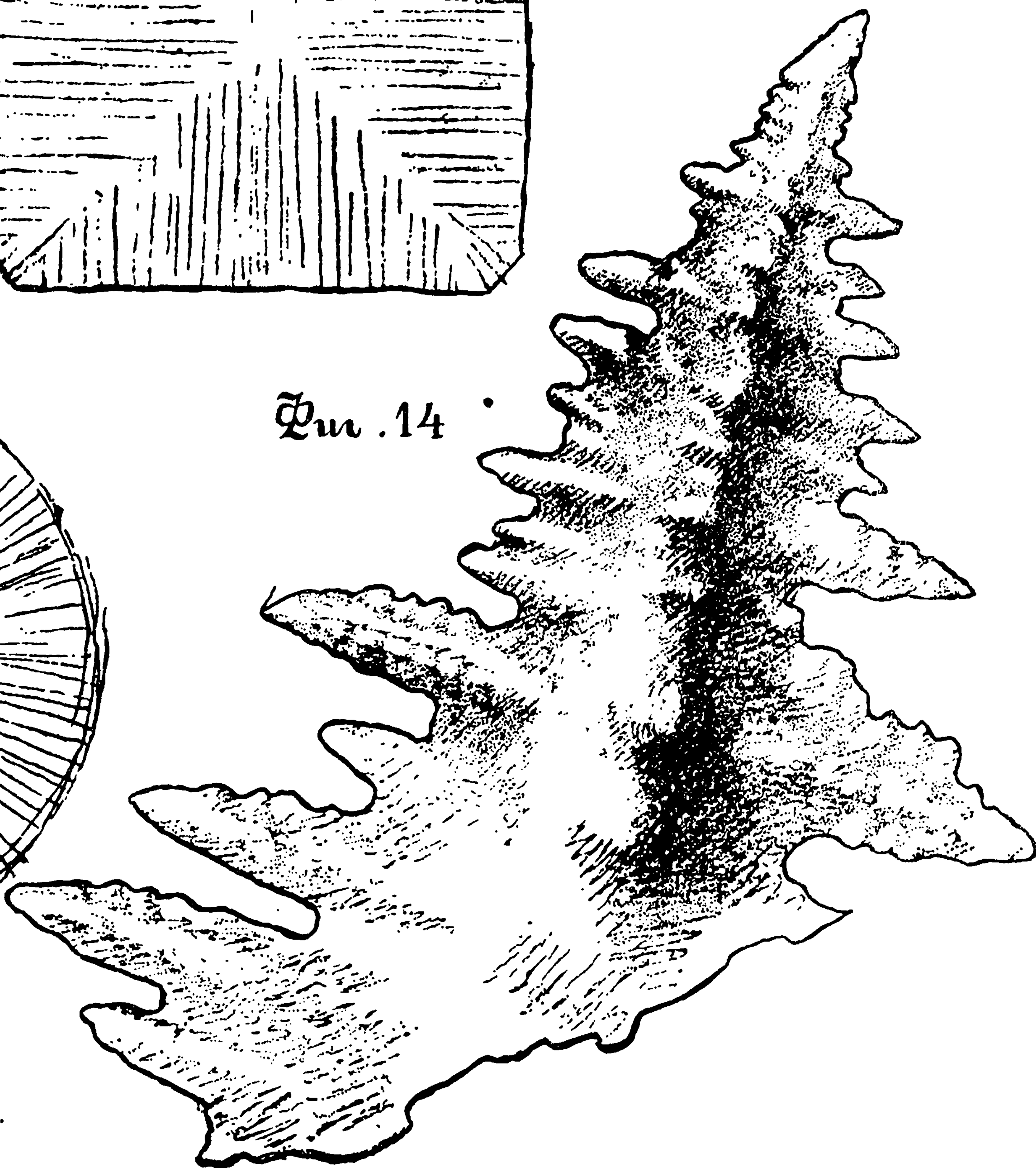
Фиг. 11.

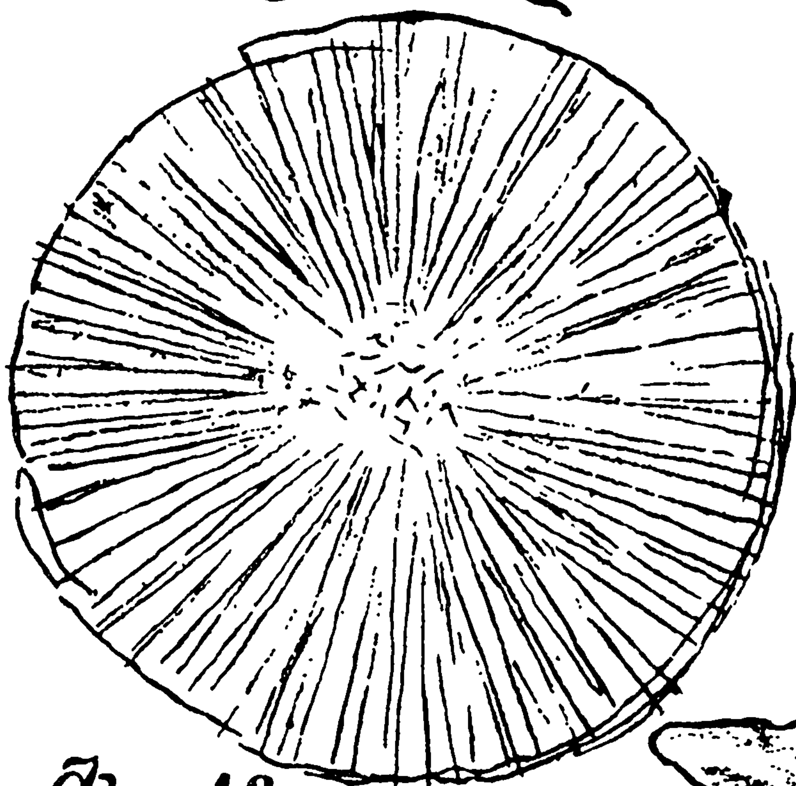


Фиг. 13



Фиг. 14.





Фиг. 12

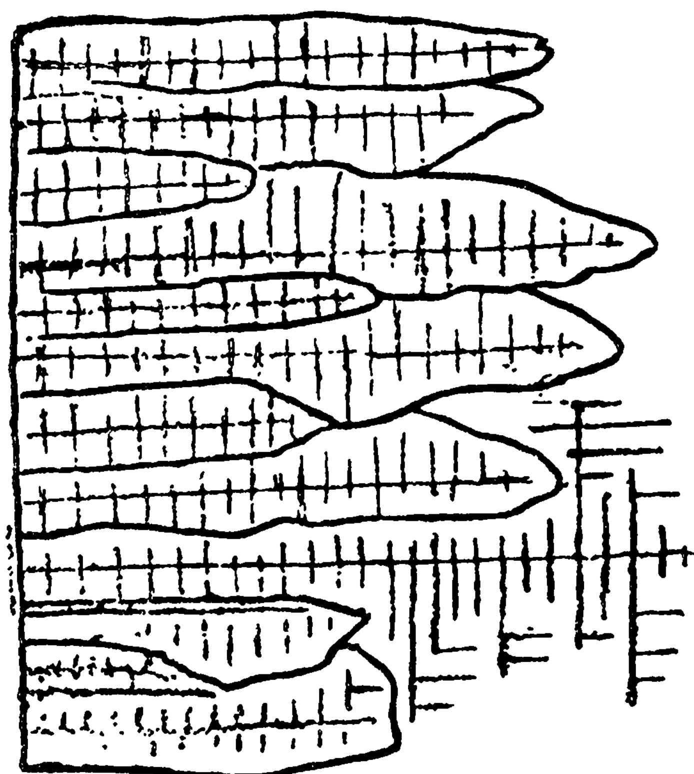
Фиг. 15



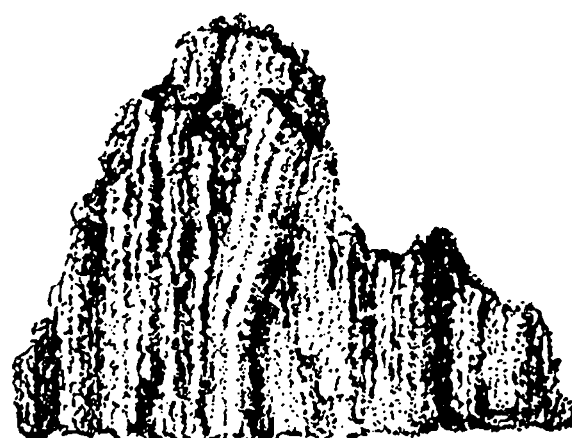
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20.



ется усадочная пустота, рыхлость, усаженная рожками разрывных кристаллов, о которых скажем далее.

Из вышесказанного видно, что если б можно было избежать образования первоначальных мелких пузырьков, прикрепленных к первым затвердевшим около стенок изложницы частицам стали, то затвердевающая корка не замыкала бы в себе постоянно увеличивающихся пузыристых пустот; образовавшиеся же пузыри, не будучи прикреплены к стенкам, легко всплывали бы наверх, и отливка имела бы плотную корку.

Явление прилипания частиц стали к стенкам изложницы аналогично с явлением смачивания жидкостью стенок сосуда; чем горячее сталь, тем меньше смачиваются стенки изложницы при вливании; с другой стороны, чем более огнеупорен и чем более дурной проводник теплоты материал стенок изложницы или формы, тем менее шансов на смачивание их сталью, а вместе и на прилипание к ним частиц стали. Отсюда следовало бы заключить, во-первых, что горячая сталь, не смачивающая стенок, при вливании в металлическую изложницу даст болванку без пузырей в наружной корке; во-вторых, что сталь, настолько горячая, что не смачивает стенок *песчаной* формы, и вместе настолько холодная, что смачивает стенки *металлической* изложницы, в первом случае, т. е. в песчаной форме, даст плотную, а в металлической изложнице — пузыристую отливку.

Опыт вполне подтверждает такое заключение: очень горячая сталь дает беспузыристую отливку, даже в металлическую изложницу, не говоря о песчаной, конечно, хорошо просушенной и подогретой форме; исключение составляют только те места, где сталь встречает заплески и брызги, происходящие при отливке и пристающие к стенкам изложницы и потому легко смачивающиеся вливаемою сталью. С другой стороны, несколько раз повторенный весьма интересный опыт отливки не очень горячей стали в форму, которой одна половина была металлическая, а другая — песчаная, давал всегда болванку, весьма пузыристую со стороны металлической половинки изложницы и совершенно плотную со стороны половинки, обмазанной ганистеровою набойкою. Рисунок на фиг. 5 представляет поперечный разрез такой болванки, снятый с натуры в $^{1}/_{4}$ натуральной величины.

Вышесказанное о пузырях относится ко времени наполнения изложницы сталью и первым моментам после отливки, когда газы могут легко выделяться прямо в атмосферу, частью чрез свободную открытую поверхность стали, частью же в виде пузырей, всплывающих вверх и лопающихся на поверхности еще жидкой стали. Когда поверхность начинает покрываться отвердевающею корою, свободный выход газов затрудняется, между тем растворимость их в стали, вследствие понижения ее температуры до точки затвердевания, уменьшается; газы собираются под застывшею коркою, приобретают большую упругость и тем предупреждается дальнейшее вырастание пузырей даже в самых верхних частях слитка; а образовавшиеся прежде пузыри замыкаются в затвердевающем наружном слое болванки, и дальнейшее выделение газов почти прекращается. Если же застывшая кора слаба [2], то газы прорывают ее и загустевающая

[2] Для ускорения застывания верхней коры вслед за отливкою накладывается холодная крышка или же поверхность стали поливается водою.

сталь в виде пенистой массы прорывается вместе с газами из-под корки наружу; вдруг облегченное давление вызывает новое выделение газов, сопровождающееся образованием второго ряда пузырей, по преимуществу в верхних частях слитка.

Точками прикрепления для второго ряда пузырей служат не вполне замкнувшиеся усадочные пустоты при вершинах пузырей первого ряда. Это обстоятельство вполне объясняет довольно резкую границу между поясами с одним и с двумя рядами пузырей, как это видно на фиг. 4 (bis), где пунктирная линия обозначает границу между жидким и затверделым металлом в момент облегчения давления, т. е. в момент прорыва верхней коры болванки; для большей ясности рисунок увеличен.

Но независимо от только что рассмотренных нами обстоятельств выделение газов и под прочною верхнею коркою вполне не прекращается почти до момента затвердевания самых последних частиц стали в центре болванки. Причина, поддерживающая выделение, заключается в постоянном уменьшении упругости собравшихся под верхнюю корку газов, с одной стороны, вследствие постоянного охлаждения их, а с другой — вследствие увеличения пространства, занимаемого газами, от образования усадочной пустоты, воронки. Отсюда становится понятным, почему верхние части стальных слитков переполнены таким большим количеством пузыристых раковин.

Внутренняя поверхность пузырей имеет обыкновенно чистый серебристый цвет, но так как наружные пузыри имеют начало почти у самой поверхности болванки и полость пузыря отделяется от наружной атмосферы весьма тонкой стенкой, то случается, что такая стенка или прорывается или же насквозь окисляется при остывании болванки, и тогда происходит сообщение полости пузыря с наружным воздухом, отчего стенки его покрываются окалиной или побежалостью различных цветов, смотря по большей или меньшей свободе, открывшейся для такого сообщения. Усадочная воронка в большинстве случаев имеет окисленные стенки, так как прорыв верхней корки, ранее прочного затвердевания ее, приводит усадочную пустоту в сообщение с наружным воздухом.

Взглянем теперь, каким образом происходит затвердевание жидкой стали и нарастание слоев по направлению от стенок изложницы к центру болванки.

Рассматривая стенки усадочных пустот, мы замечаем, что они усеяны мелкими кристаллическими ростками, образующими друзы нагроможденных друг на друга стальных кристаллов. Скопления таких друз в усадочной воронке, в особенности в нижнем конце ее, представляют рыхлую массу, в которой местами встречаются значительные пустоты. Общий вид нижней части усадочной воронки представлен на фиг. 6, а на фиг. 7 изображена кристаллическая группа, взятая из центральной усадочной рыхлости стальной болванки весом 1700 пудов (при диаметре 47″), на глубине $^1/_4$ высоты болванки, считая от верхнего конца. Группа представлена увеличенной в 4 раза против натуральной величины.

Рассматривая под микроскопом отдельные кристаллы, мы видим, что они принадлежат к разрывным кристаллам [3] с наибольшим развитием ростков по направлению октаэдрических осей, причем одна из них по направлению главного роста кристалла всегда оказывается длиннее двух других, так что каждый разрывной кристалл представляется в виде скелета вытянутого квадратного октаэдра. Кроме ростков по направлению октаэдрических осей, или ростков первого порядка, по мере удаления от вершины кристалла к его основанию мы встречаем сначала в зачатках, а потом все более и более развитые — ростки второго, третьего и т. д. порядков, которые иногда образуют буквально сетчатые стропила октаэдрического кристалла. Схематическое изображение такого кристалла представлено на фиг. 8. Наибольшая величина когда-либо виденных мною или имеющихся в моей коллекции отдельных стальных кристаллов только в редких случаях достигает 5 *мм* по наибольшему измерению; в большинстве же случаев длина кристаллов достигает 3 *мм* при $1—1^1/_2$ *мм* в поперечном измерении. Наименьшую величину определить трудно, так как мне попадались очень хорошо развитые кристаллы — с весьма тонкими очертаниями, но таких малых размеров, что хорошо видны только при увеличении в 100—150 раз.

Разрывные кристаллы обыкновенно расположены не параллельно друг с другом, главные оси их перекрещиваются по всевозможным направлениям, как это видно на вышеуказанном рисунке фиг. 7; но иногда они образуют сростки, весьма похожие на двойники, как это видно из рисунка фиг. 9, представляющего кристаллик из усадочной пустоты литой 14-пудовой болванки; рисунок снят увеличенным в 140 раз против натуральной величины.

На фиг. 11 (табл. VII) представлен в 50 раз увеличенном виде профиль одного из кристаллов группы, нарисованной на фиг. 7.

Так как стенки всех усадочных пустот и всей рыхлости, окружающей центральный усадочный столб, постоянно образованы из более или менее развитых разрывных кристаллов, то мы имеем полное право заключить, что затвердевание стали идет не непрерывным нарастанием гладких слоев один на другой, а постоянным ростом разрывных кристаллов по направлению от охлаждающих стенок изложницы к центру болванки, и притом главные оси роста кристаллов должны быть расположены нормально к охлаждающей поверхности, как изображено на фиг. 17. Это доказывается самым очевидным образом лучистым сложением в изломе наружного слоя болванок, когда сталь отлита в металлическую изложницу настолько горячей, что вовсе не образует наружных пузырей или только очень мало. Если диаметр круглой болванки незначителен (2—3 дюйма), в таком случае лучи проходят до самого центра болванки, как это изображено на фиг. 12; а если сечение болванки квадратное (фиг. 13), то в изломе виден квадрат с весьма ясно обозначающимися диагоналями, по которым происходит встреча вершин кристаллов, растущих нормально к наруж-

---

[3] О разрывных кристаллах см. *Кнор*. — Molekularconstitution und Wachstnum der Krystalle. Leipzig, 1867.

ной квадратной поверхности болванки. По этим диагоналям располагаются так называемые плоскости слабости, которые так известны в отливках из закаленного чугуна. Нужно прибавить, что в усадках литейного чугуна встречаются разрывные кристаллы, весьма сходные с теми, о которых мы сейчас говорили, и что, следовательно, затвердевание жидкого чугуна идет таким же путем, как и затвердевание стали. Рисунок кристалла из усадки полубелого чугуна представлен на фиг. 14, увеличение 140.

Из многочисленных наблюдений над строением стенок усадочных пустот оказывается, что чем тверже сталь, т. е. чем больше в ней углерода, тем яснее и отчетливее развиты разрывные кристаллы. В очень мягких сортах, содержащих менее 0,2% углерода, уже с трудом можно найти сколько-нибудь отчетливо развитый кристалл и притом незначительных размеров. По всей вероятности, существует тесная связь между способностью правильного развития разрывного кристалла и свойствами металла быстро переходить из совершенно жидкого состояния в твердое, без более или менее продолжительного перехода чрез мягкое, тестообразное состояние, мешающее быстрому и правильному развитию ростков кристалла. Это видно и по чугуну, где белые сорта, или способные к отбеливанию при быстром охлаждении, принимают лучистое сложение, указывающее на быстрый рост кристаллов; серые же, в которых выделение графита мешает правильному ходу кристаллизации и которые способны переходить перед отвердеванием в кашеобразное состояние, принимают зернистое сложение, причем кристаллизующийся в разрывных кристаллах металл, выделяя графит по соседству с образующимися ростками, содержит весьма мало химически соединенного углерода, но, по всей вероятности, удерживает все другие элементы, содержащиеся в чугуне.

Что касается перепутанности в направлении главных осей кристаллов, составляющих группы в усадочных пустотах и вообще в средних частях болванки, то нужно вспомнить, что затвердевание стали в центральных слоях совершается под влиянием весьма медленного отнятия теплоты сквозь раскаленные, только что отвердевшие, наружные слои болванки, причем может образоваться весьма большое число центров кристаллизации, с произвольным направлением осей роста кристаллов. Кроме того, центральные части застывающей болванки находятся постоянно в движении от оседания жидкости вследствие усадки металла, движении, хотя и очень медленном, тем не менее вполне достаточном для вращения осей образующихся кристаллов.

Химический состав ростков разрывных кристаллов, по анализам лаборатории Обуховского завода, не представляет никакого постоянства [2*] и всегда одинаков с составом остальной массы болванки, будет ли она твердая или мягкая; таким образом, не представляется никаких оснований предполагать, что здесь кристаллизуется какое-либо определенное химическое соединение железа с углеродом, хотя явление ликвации в стальных болванках, замеченное и доказанное гг. Лавровым и Калакуцким [4],

---

[4] См. «Артиллерийский журнал» 1866 и 1867 годов.

могло бы дать повод к такому предположению. Разрывные кристаллы, встречаемые в ликвационных пятнах, имеют состав, одинаковый с металлом пятен; но как металл этот всегда тверже остальной массы болванки, то и кристаллы его отличаются более тонкими очертаниями от кристаллов, находящихся вне ликвационных пятен и имеющих одинаковый состав с главной массой болванки.

Обращаясь к очертанию кристаллов, мы видим, что в росте нет строгой правильности, — иногда рост одной стороны опережает другую, ростки второго порядка развиваются быстрее некоторых ростков первого порядка, отнимают от них материал и, в свою очередь, пускают от себя ростки третьего порядка и т. д.; ростки встречаются, срастаются и замыкают между собой пространства, наполненные жидкой сталью. На фиг. 9 изображены эти пространства *a*, *a*, замкнутые между ростками первого и второго порядков. И это только при рассматривании одного кристалла в отдельности, — сколько же должно образоваться таких замкнутых пространств, когда рядом растут соседние кристаллы, бросающие от себя ростки по всем направлениям? Что же происходит в этих замкнутых пространствах при дальнейшем остывании стали? Жидкий металл замкнутых пространств продолжает служить материалом для дальнейшего роста замыкающих его кристаллических ростков, но как при этом происходит сжатие объема металла, то в каждом таком замкнутом пространстве останется усадочная пустота, которую назовем местною или частною усадкой.

Очевидно, что недостаток материала для правильного развития роста кристаллов не может быстро пополняться, если окружающий металл загустевает и теряет быструю подвижность, что и имеет место при затвердевании центральных частей болванки. Вот причина, почему по мере приближения к центру болванки мы встречаемся с более и более рыхлым металлом. Таким образом, рыхлость центральных частей болванки есть не что иное, как скопление более или менее развитых частных усадок. Одна из таких усадок изображена на фиг. 10. С другой стороны, чем теснее растут кристаллы и чем быстрее вырастание их ростков, тем затруднительнее приток нового материала для пополнения недостатка, хотя бы окружающий металл был еще довольно жидкий. Обстоятельство это имеет место при образовании наружных слоев болванки, отлитой в металлическую изложницу, быстро отнимающую теплоту от жидкого металла. Вот причина образования игольчатого (призматического) наружного слоя болванки со сравнительно малым сцеплением между иглами. Частные усадки располагаются тогда по преимуществу в поверхностях соприкасания растущих нормально к охлаждающей поверхности призматических кристаллов. Призмы в поперечном сечении имеют вообще неправильную фигуру. Это происходит, оттого что, во-первых, направления боковых осей соседних кристаллов не стоят ни в какой видимой зависимости между собой; во-вторых, расстояния между главными осями их неодинаковы, отчего некоторые, очень близко друг к другу растущие кристаллы образуют двойниковые, тройниковые и т. д. сростки, а более удаленные от других — развиваются самостоятельнее; в-третьих, как выше было

видно из рассмотрения отдельных кристаллов, быстрота роста ветвей редко симметрична относительно главной оси. На основании этого можно представить себе поперечный разрез растущих кристаллов таким, как это изображено (в несколько увеличенном виде) на фиг. 15. По окончании роста вероятное поперечное сечение смежных призм имеет вид, изображенный на фиг. 16, что в самом деле и наблюдается в изломе стальных болванок с игольчатым сложением. Рост кристаллов нормально к поверхности болванки виден на фиг. 17.

Слабое сцепление между призмами служит главною причиною образования наружных трещин при остывании болванок. Достаточно малейших неровностей на стенках изложницы, затрудняющих стягивание охлаждающейся корки, чтобы преодолеть связь между призмами; в таком случае вместо соответствующего растяжения металла корка получает несколько мелких трещинок и последних будет тем больше, чем горячее был металл, т. е. чем большее стягивание должно произойти в корке [5]. Стенки трещин имеют призматическое сложение, причем на поверхностях призм ясно видны отпечатки боковых ростков разрывных кристаллов. Фиг. 18 представляет в натуральную величину стенку трещины, происшедшей при ярко-красном калении, во время отвердевания корки внутри еще жидкой стальной болванки. В болванках большого диаметра (30—50″) и значительной высоты (7—10 футов) при горячей стали и быстрой отливке в металлическую изложницу быстрое расширение стенок этой последней, действуя противоположно стягиванию прилегающих слоев стали, имеет особенно большое влияние на образование трещин в наружной корке болванок.

Помимо образования трещин, лучистое сложение наружной коры болванки ведет к тому, что при дальнейшем остывании, а следовательно, и уменьшении объема наружных слоев эти последние, за невозможностью сжать собою внутренние, медленнее их охлаждающиеся слои болванки, не обладают достаточною тягучестью по причине слабого сцепления призм между собою. Вследствие этого податливость наружного слоя выражается не столько растяжением металла, сколько нарушением связи между отдельными призмами, так что в изломе такой болванки видны почти все призмы, составляющие наружный слой ее в поверхности излома (фиг. 19).

Что касается происхождения грануляций, которые следуют за наружным призматическим слоем, то оно объясняется натяжением металла при остывании болванки. Мы уже видели прежде, что в стали, нагретой очень сильно, при сравнительно медленном остывании происходит особая группировка частиц в неправильные многогранные зерна. Если во время

---

[5] Пользуюсь случаем, чтобы исправить сделанный мною ранее неправильный вывод относительно красноломкости бессемеровской стали, полученной при очень горячем ходе процесса. Рассматривая внимательно поверхность тех бандажных болванок, которые относились к горячим процессам и которые давали рванины при ковке, я усомнился в красноломкости стали вследствие несоответственности расположения рванин с красноломкостью металла; это привело меня к открытию весьма мелких трещин, происходящих при отливке. Трещины эти при ковке расширяются, а после вырубки их дочиста — вновь не появляются, и металл куется хорошо.

такой группировки еще при красном калении будет нарушаться связь между частицами стали действием внешних сил — растягиванием или изгибанием, — то главным образом будет нарушаться связь между поверхностями соприкосновения зерен между собою, отчего в изломе будут видны отделившиеся зерна. Так как во время перехода всей термометрической шкалы, от точки затвердевания стали до обыкновенной температуры, направления натяжений в различных местах болванки попеременно меняют свой знак, то мы можем встретить такие грануляции во всех местах болванки, преимущественно же в наружных и самых центральных слоях и в особенности — при больших диаметрах болванок, где является большая разность между температурами наружных и внутренних слоев. В начале остывания наружные слои подвергаются растяжению, а внутренние — сжатию; в конце остывания — наоборот, наружные слои подвергаются сжатию, а внутренние — сильному растяжению. Натяжения внутренних слоев в толстых болванках, например при диаметрах 40 и более дюймов, развиваются так сильно, что оставленная остывать на открытом воздухе болванка при конце остывания часто получает внутренние трещины, преимущественно в верхнем конце, т. е. в наислабейшей своей части.

Не входя в подробности относительно гранулирования стали, сошлюсь на то, что мною было сказано в нашем Обществе еще в 1868 г., и укажу на фиг. 20 и 21; рисунки изображают в $^2/_3$ натуральной величины вид изломов сильно гранулированной стали. Одна половинка того куска, с которого снят снимок фиг. 21 (табл. VIII, передана мною в музей нашего Общества 7 марта 1870 г., во время сообщения моего по 1-му отделу «Микроскопические исследования над структурою стали» [6]. Одно из зерен этого куска изображено на фиг. 22 при увеличении в 7 раз.

На фиг. 23 изображено одно зерно из другого подобного же куска. Из рисунков видно, что зерна эти имеют только некоторое подобие кристаллов; о какой бы то ни было правильности формы тут не может быть и речи: полнейшее разнообразие в углах и искривление граней.

Обратимся теперь к рассмотрению *тех мер*, какие принимаются *для борьбы* с теми *недостатками в стальных слитках*, о которых мы только что говорили.

Как на обходный путь к решению занимающего нас вопроса можно указать на приготовление так называемого ковкого чугуна. Отливкой изделий из отбеленного, рафинированного чугуна, а потом продолжительным прокаливанием этих изделий в медленно окисляющей среде, надеялись получить их из более или менее обезуглероженного металла, по свойствам своим не отличающегося от стали или железа. Нельзя сказать, чтобы путь этот привел к решению поставленного вопроса, так как металл, полученный таким образом, еще далеко не таких качеств, как

---

[6] Обращаю внимание при этом случае на сочинение Гаусмана «Uber die durch Molekularbewegungen in starren leblosen Körpern bewirkten Formveranderungen». (Göttingen, 1856, S. 22—50). К сожалению, автор не упоминает о камфоре, которая в настоящем случае очень интересна, так как получает грануляцию, совершенно сходную со сталью как по форме, так и по величине зерен.

того можно было ожидать на первых порах. Однако производство ковкого чугуна получило весьма значительное развитие, в особенности в применении к мелким слесарным изделиям. Развитие этого производства еще раз показывает всю трудность прямого решения занимающего нас вопроса. Не будем останавливаться далее на этом обходном пути, так как он не приводит к поставленной нами цели.

Способы борьбы против недостатков в стальных слитках можно разделить на три вида:

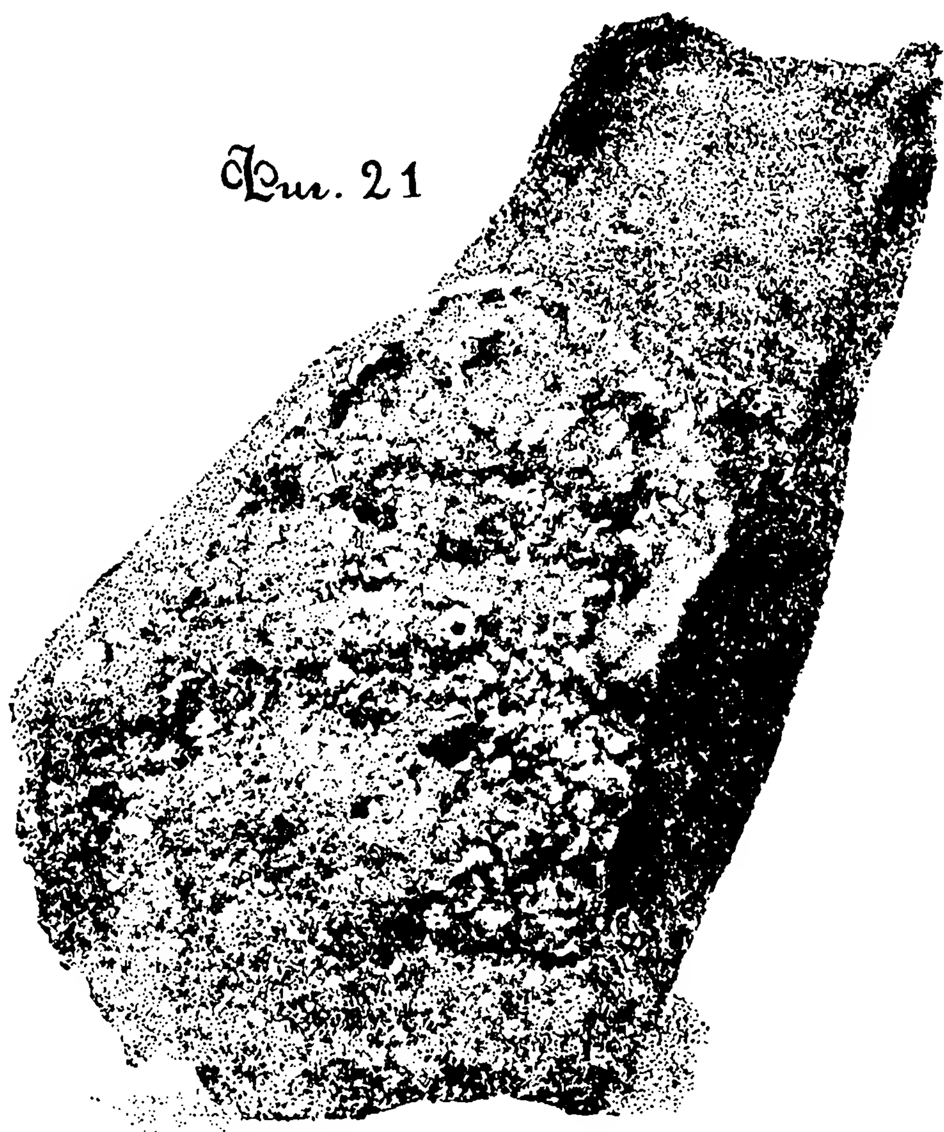
1) Не изменяя способов отливки стали, ограничиваются отливкой стального куска, болванки, самой простой формы и выделывают изделия из полученного куска помощью молотов или прокатных станов.

2) Подвергая сталь в жидком виде сильному давлению, получают беспузыристые, а частью и безусадочные болванки самых простых форм; для дальнейшей обработки употребляют молота или прокатные станы.

3) Прекращая химическим путем выделение газов в отливаемой стали, получают стальные изделия самых разнообразных очертаний прямо отливкою в земляные или металлические формы, без дальнейшей обработки под молотом.

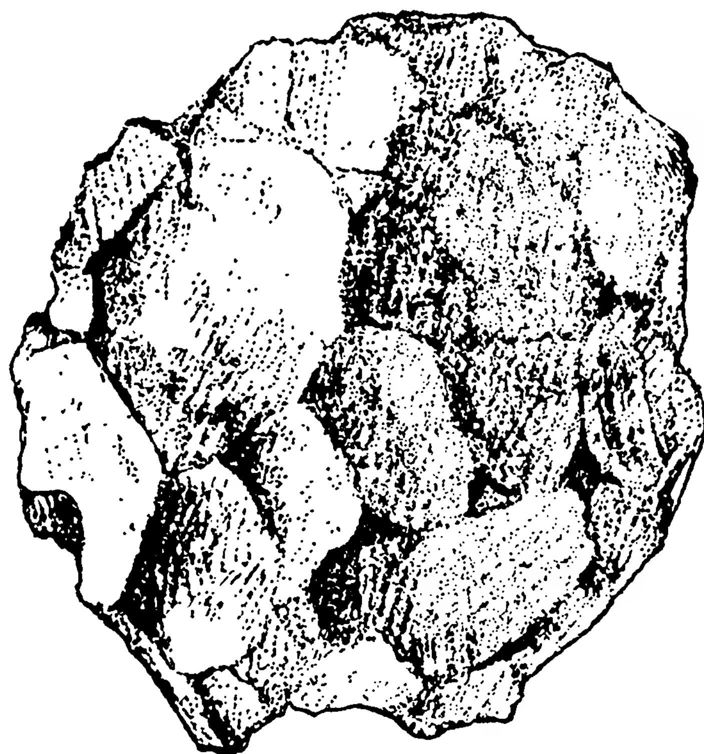
В первом случае структура болванки представляется в том виде, как мы видели выше на фиг. 1, причем степень развития различных недостатков колеблется между крайними видами, представленными с правой и левой сторон рисунка. Верхняя часть слитка, переполненная пустотами, идет в отброс; она составляет от $^1/_6$ до $^1/_4$ веса всей болванки, смотря по развитию пустот, и играет такую же роль, как прибыль в чугунных отливках. Остальная часть идет на выковку изделия. С увеличением калибра и веса стальных артиллерийских орудий и с применением стали для изготовления брони возрастают соответственно и размеры стальных болванок, а с увеличением этих последних возрастают и механические средства для их обработки. Так, в последнее время мы видим, что и 50-тонные паровые молоты становятся уже недостаточными для этой цели. На парижскую выставку нынешнего года представителем новейших паровых молотов явился 80-тонный молот завода Крезо (деревянная модель в натуральную величину), а представителем стальных болванок— стальной слиток с того же завода в 120 *т* весом (также в модели). При посещении мною стального завода в Сен-Шамон, мне удалось видеть в постройке 80-тонный паровой молот двойного действия; молот этот, по уверению директора завода, будет пущен в ход не далее как через полгода. Кроме того, уже несколько лет назад поговаривали о предположении устроить на заводе Круппа 100-тонный паровой молот; к сожалению, неизвестно, в каком положении находится вопрос о постановке такого молота в настоящее время [3*].

При выковке изделий из стали для избежания излишней работы стараются отливать болванки такой толщины, чтобы площадь поперечного сечения литого куска была около 2 раз более площади поперечного сечения будущего изделия. При таком отношении толщин наружный пузыристый слой во время ковки утоняется настолько, что, после снятия некоторого слоя металла на токарном или строгальном станке, можно

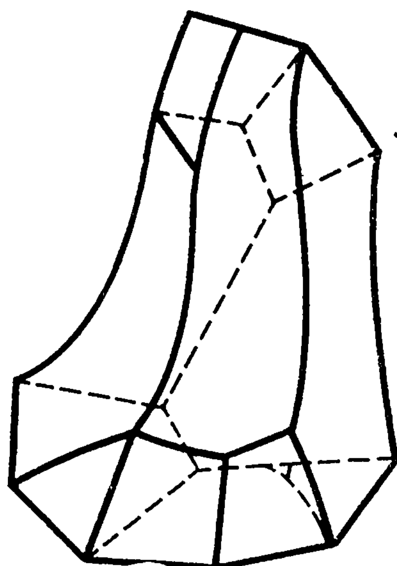


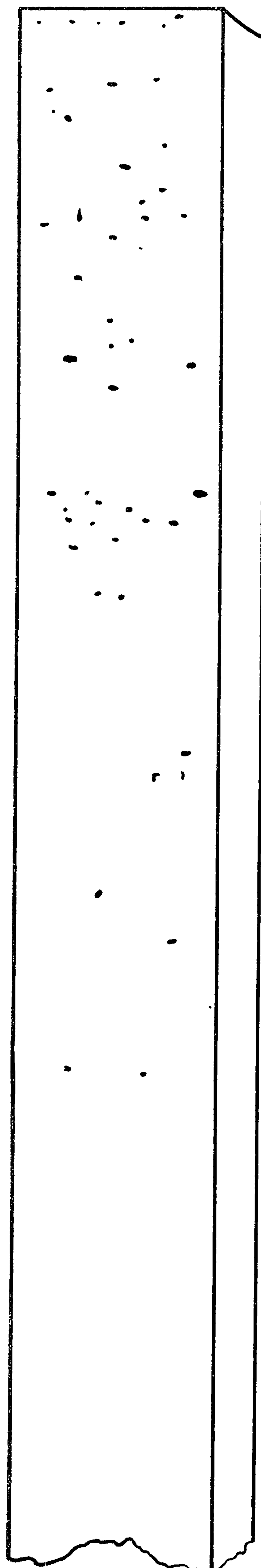
Фиг. 21

Фиг. 22

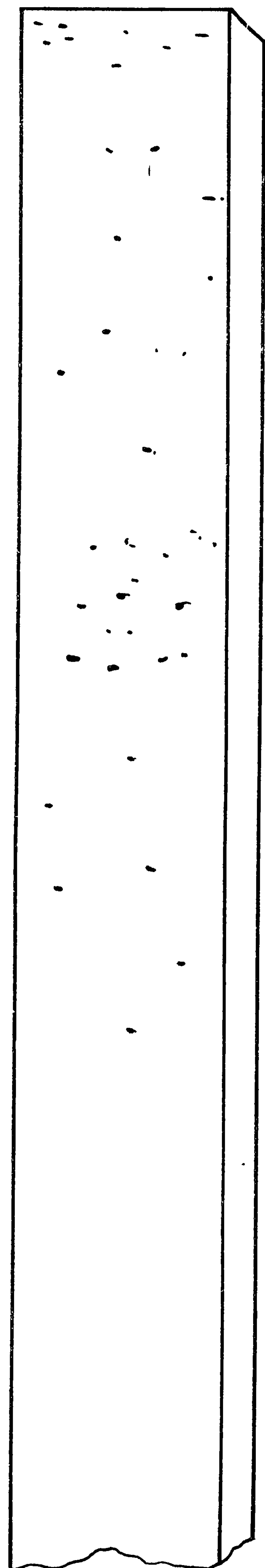


Фиг. 23



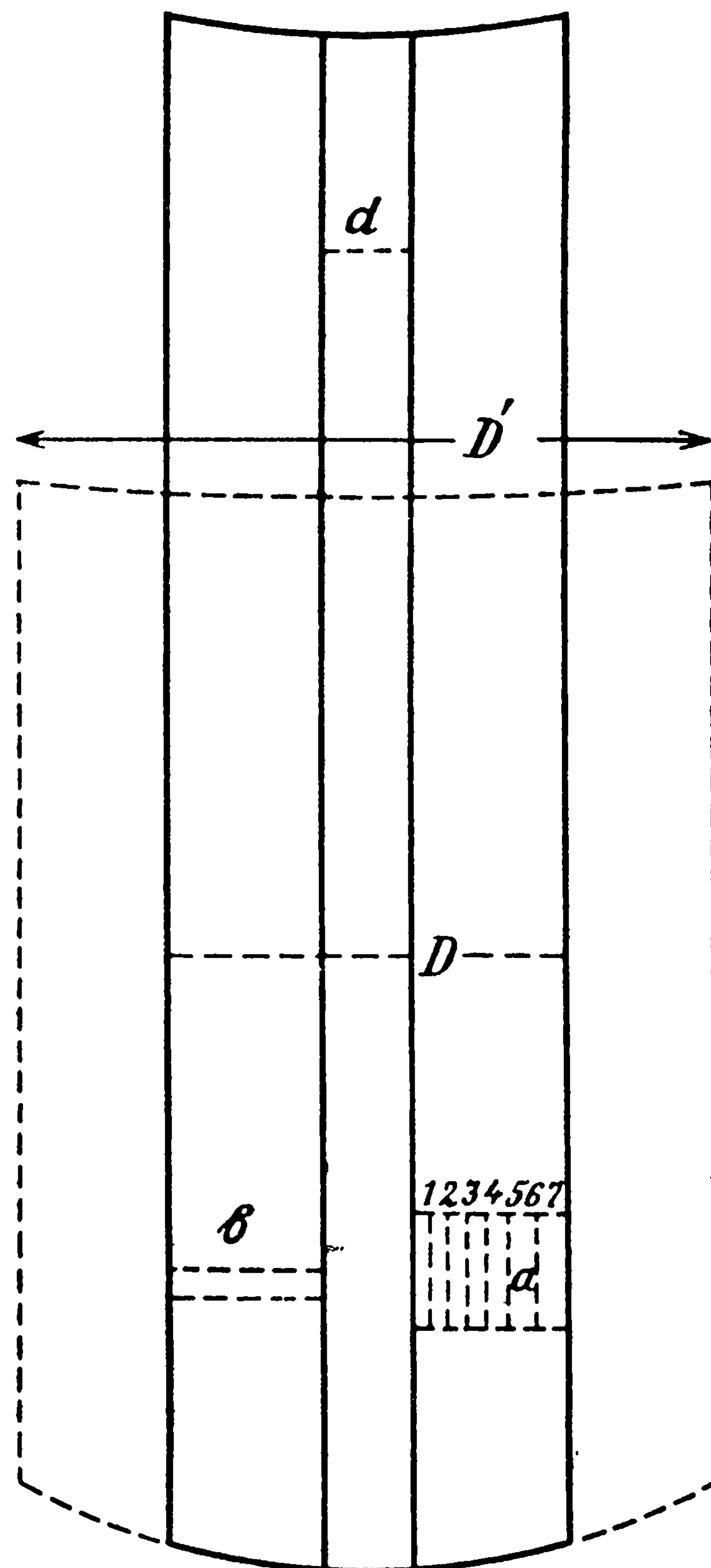


Фиг. 24



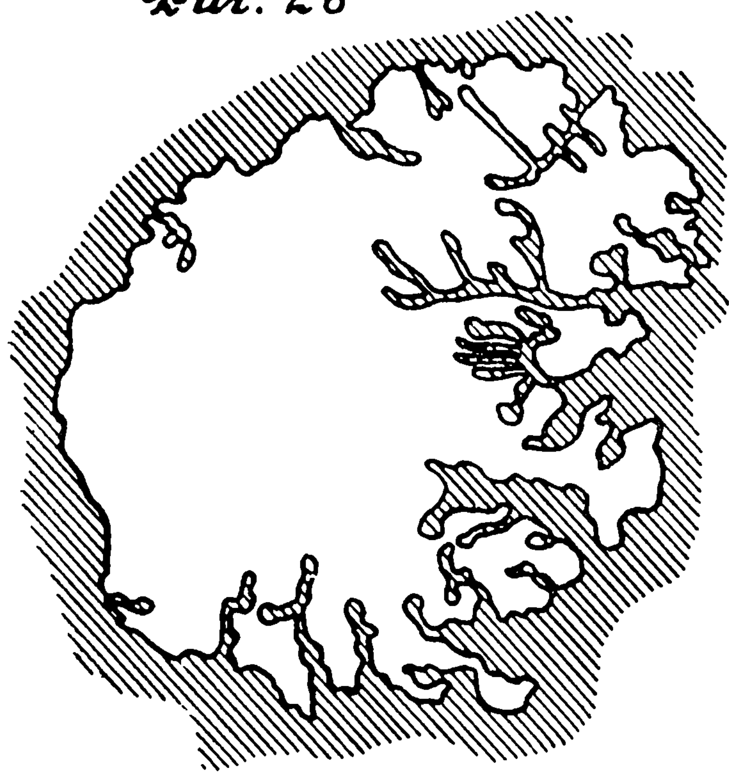
Фиг. 25


Фиг. 29



Фиг. 26


Фиг. 27


Фиг. 28

с уверенностью получить чистую поверхность отделываемого предмета. Однако же слой, снимаемый на токарном или строгальном станке, в большинстве случаев составляет от 10 до 30% веса обточенного изделия, что, вместе с отброшенною прибылью, представляет значительную потерю в металле. Здесь следует принять во внимание, что при таком способе обработки стали рыхлость внутренних слоев болванки, т. е. частная усадка, уменьшается весьма незначительно по продольному направлению вследствие вытягивания мелких усадочных пустот вместе с окружающим металлом. В поперечном же радиальном направлении вредное влияние частичной усадки на прочность стали даже несколько увеличивается; это хорошо видно при испытании растяжением различных слоев толстой кованой болванки. Я приведу несколько данных из произведенных в этом направлении опытов.

На фиг. 26 пунктирною линиею изображена литая болванка, диаметр которой=D'; цельною линиею — выкованная из нее под 50-тонным паровым молотом болванка, диаметр ее=D. В кованой болванке высверлен канал, диаметр которого=d, из кованой болванки вырезывались полоски a, a параллельно оси болванки и испытывались растяжением на прессе; результаты испытания таких полос, при различных D, D' и d, помещены в следующей таблице <табл. 1>.

Таблица 1

D'	D	d	Номер полосы	Предел упругости, *атм*	Абсолютное сопротивление, *атм*	Удлинение при разрыве, %
дюймы						
47,5	36,5	11	1	1800	5300	16,0
			7	2330	6200	17,0
42,5	32,9	9	2	1980	5200	18,0
			6	2500	6400	16,0
36,5	26,5	8	2	1800	5830	13,7
			5	2380	6540	14,8
36,5	26,5	8	1	1860	4517	16,0
			7	2910	6585	15,0

Так как болванки, из которых вырезаны эти образцы, были кованы, поэтому может быть сделано предположение — не объясняется ли такая разница в сопротивлении наружных и внутренних слоев исключительно тем, что наружные слои подвергались более сильной проковке. Однако нужно принять во внимание, что после проковки болванки отжигались с более или менее быстрым охлаждением после нагрева, и так как при этой операции различные слои болванки не были в тождественных условиях, то вырезанные образцы перед испытанием их были вновь отожжены при одинаковых для каждой пары обстоятельствах, с медленным охлаждением после нагрева. Таким образом, влияние ковки было значительно ослаблено отжиганием, и разность в сопротивлении нужно отнести почти

исключительно влиянию частных усадок; жалею, что мне не представилось случая сделать подобные испытания над литыми некованными болванками таких размеров.

Для убеждения в существовании частных усадок в прокованных болванках стоит взглянуть на фиг. 24 и 25, изображающие форму и распределение частных усадок в таких же кованых болванках, к каким относятся предыдущие опыты. Рисунки сняты в натуральную величину с полированных пластинок, вырезанных из кованых болванок по направлению радиусов. Из рисунков видно, что при ковке частные усадки вытянулись по направлению оси болванки и превратились в эллиптические пустоты и что количество пустот значительно увеличивается по мере приближения к оси болванки.

На фиг. 26 показано с левой стороны, из каких мест кованых болванок вырезывались испытанные полосы *b*.

Обратимся теперь к способу получения плотных болванок с помощью усиленного давления на жидкую сталь.

Из рассмотренных нами явлений при отвердевании стали легко видеть, что если бы отливку стали в изложницу можно было производить под таким большим давлением окружающей атмосферы, которое в состоянии было бы удержать газы в растворе, то не было бы и пузырей в отлитой болванке. Сюда относится, между прочим, предложение Gally-Gazalat в 1866 г. отливать сталь под давлением пороховых газов, а также отливка стали в Шалеасьере, во Франции, под давлением пара от 6 до 10 *атм*. Способ этот, самый рациональный в основе, весьма мало распространен, так как представляет много неудобств при валовом характере производства.

Несравненно проще наложение глухого поршня на поверхность жидкой стали, только что налитой в изложницу, или так называемое прессование жидкой стали. Этот способ получил некоторые применения на практике, и потому мы несколько остановимся на нем.

Сталь наливается в изложницу, как обыкновенно, и вслед за тем на поверхность ее нажимается глухой поршень помощью сильного гидравлического пресса. Газы, частью выделившиеся в виде пузырей, сидящих около стенок формы, под влиянием сильного давления вновь растворяются в стали, которая втекает в полость пузырей. Для того чтобы образовавшиеся около стенок формы пузыри могли вновь раствориться, необходимо, чтобы окружающий их металл оставался жидким, по крайней мере с одной стороны, т. е. чтобы до наложения поршня вокруг стенок изложницы не успела еще настыть толстая корка, замыкающая пузыри со всех сторон. Для этого внутренность изложницы одевается со всех сторон огнеупорной, дурно проводящей теплоту набойкой. По наложении поршня давление обыкновенно поддерживается до тех пор, пока около стенок изложницы, дна ее и поршня образуется достаточно толстая кора и таким образом будет заперт выход газам из стали и тем предупредится образование пузырей.

Если б только этим ограничивалась цель наложения поршня, то можно было бы удовольствоваться небольшим прессом, так как не требуется

очень большого давления, чтобы предупредить выделение газов. Но если имеется в виду уничтожить и усадочную воронку, тогда сила пресса должна быть весьма значительна, чтобы поршень мог следовать за уменьшением объема металла до затвердевания самых центральных частиц болванки. Этой последней целью задался Витворт при устройстве своего большого пресса, имеющего колоссальные размеры: диаметр гидравлического поршня равен 50 дюймам, а давление воды может достигать 5 *т* на кв. дюйм, так что полное давление на поршень может быть доведено до 10 000 *т*.

Трудно сказать, в какой мере достигается этим прессом уничтожение центральных усадочных пустот в больших болванках, так как выставленная Витвортом в Париже разрезанная вдоль и отшлифованная болванка имела в толщину только около 12—13 дюймов, а в длину около 3—$3^1/_2$ футов. Однако, насколько позволяла приблизиться витрина, нельзя было заметить присутствие никаких усадочных пустот, и болванка представлялась совершенно плотной в разрезе.

Прессование жидкой стали, при всех своих кажущихся достоинствах, до сих пор не могло быть применено к отливке предметов сколько-нибудь сложных форм. Кроме того, известно, что Витворт не ограничивается прессованием, даже для изделий самых простых форм, каковы, например, скрепляющие кольца для орудий, артиллерийские снаряды, орудийные стволы и т. п., но подвергает их проковке под молотом. Таким образом, одним прессованием не решается вопрос об обработке стали в изделия, а только достигается экономия в металле уничтожением прибыльного отброса и сокращением до крайнего минимума запаса металла на отделку поверхности изделия после ковки. Но и такие результаты достаются слишком дорого, так как погашение весьма значительного капитала, употребленного на постройку пресса и всех аксесуаров, а также значительные текущие расходы на прессование при небольшой производительности пресса ложатся тяжелым налогом на производство стали и далеко не покрываются экономией в металле. Вот почему применение пресса Витворта на западе Европы до сих пор ограничивается только заводом самого изобретателя.

Перейдем к третьему способу, который отличается от предыдущих тем, что преследует полное решение поставленной нами задачи и притом опирается на научные исследования.

Частное решение вопроса для твердых сортов стали осуществилось уже более 20 лет назад на Бохумском сталелитейном заводе под руководством инженера Майера и оттуда перешло на некоторые германские, австрийские и английские заводы. Между прочим, особенную известность приобрели стальные колокола Бохумского завода; до сих пор выпущено их оттуда около 3000 штук. Известны также вагонные и локомотивные колеса, стрелки и т. п. железнодорожные принадлежности, паровые цилиндры, гребные пароходные винты, цилиндры для гидравлических прессов, зубчатые колеса и т. п.

Все такие изделия отливаются в земляные формы из сравнительно твердой стали, расплавляемой в тиглях, причем в шихту идет значитель-

ное количество кремнистого чугуна, вносящего в сталь от 0,3 до 0,4% кремния. Когда способ этот, сохранявшийся практикующими его заводами в секрете, стал более или менее известен и когда его коснулись научные исследования, то оказалось, что беспузыристость отливок главным образом зависит от присутствия в стали кремния, который действует двояким образом на удаление из нее газов. С одной стороны, кремний значительно уменьшает растворимость газов в стали во время плавки, а с другой — он препятствует образованию углеродной окиси, происходящей вследствие реакции между кислородом, растворяющейся в стали во время плавления железной окиси и углеродом стали.

Так как при плавке в закрытых тиглях сталь более предохраняется от окисляющего действия воздуха и к тому же при большей твердости ее менее вероятности растворения в ней окислов железа, то и получение в этом случае беспузыристых отливок не представляет тех трудностей, какие встречаются при отливке мягкой бессемеровской или мартеновской стали.

В настоящее время на стальном заводе в Terre-Noire, как кажется, побеждены и последние препятствия, судя по тому, что было выставлено этим заводом на Парижской выставке.

При получении мягкой стали в бессемеровской реторте или в мартеновской печи, как известно, необходимо добавлять в конце операции довольно значительное количество марганца, чтобы восстановить растворяющиеся в стали железные окислы. Для этой цели служит зеркальный чугун с большим содержанием марганца, а для особенно мягких сортов стали — так называемый ферроманган, имеющий тот же элементарный состав, как и зеркальный чугун, т. е. железо, углерод и марганец, но количество последнего в нем так велико, что излом не представляет уже больших зеркальных плоскостей спайности.

Честь приготовления сплава железа с весьма большим содержанием марганца, доходящим до 80 и 85%, принадлежит инженерам сталелитейного завода в Terre-Noire (директор г. Эверт), а в последнее время инженерам того же завода принадлежит введение в этот сплав большого количества кремния и вместе с тем достижение возможности получать беспузыристые отливки из мягкой мартеновской или бессемеровской стали. Известно, что как при бессемеровании, так и при получении стали в печах Мартена или Перно кремний, содержащийся в обрабатываемой металлической ванне, в начале процесса почти совершенно окисляется и уходит в шлак; исключение составляет очень горячий ход бессемерования при значительном содержании кремния в обрабатываемом чугуне. Следовательно, в конце процесса мы почти всегда имеем металл, свободный от кремния, и так как зеркальный чугун или ферроманган содержат его чрезвычайно мало, то и получаемая после добавления марганца сталь почти вовсе не содержит кремния. Вот причина, почему в бессемеровской и мартеновской стали удерживается большое количество газов и окислов в растворе и в большинстве случаев отливаемые болванки проникнуты множеством пузырей.

Получаемый в настоящее время в Terre-Noire сплав ферромангансилициум дает возможность вводить в окончательный продукт бессемеровского

или мартеновского процесса такую дозу кремния, какая необходима для полного разложения растворенной в стали углеродной окиси и образования двойного силиката железной и марганцевой закиси, образующихся при восстановлении растворенных в стали железных окислов. Этот двойной силикат, будучи очень легкоплавок и жидок, сравнительно быстро всплывает на поверхность, и, таким образом, металлическая ванна хорошо очищается от обыкновенно запутывающихся в ней очень раздробленных шлаков, вредно действующих на механические качества получаемой стали. По словам г. Пурселя, новый сплав прибавляется в конце процесса перед отливкою в таком количестве, чтобы отлитая сталь содержала от 0,2 до 0,3% кремния. Чтобы нейтрализовать вредное влияние кремния на прочность соединения содержащегося в стали углерода с железом, необходимо вводить в сталь такое количество марганца, чтобы отношение между ними было пайное, т. е. чтобы Si : Mn=3 : 4,5.

Получаемая при таких условиях сталь отливается в формы без вскипания, совершенно спокойно, и дает беспузыристые отливки. Для уменьшения усадочных пустот пускается прибыль, как и при чугунных отливках. Прекрасная коллекция выставленных заводом Terre-Noire предметов доказывает, что вопрос о получении стальных изделий прямо отливкою в формы весьма близок к полному решению.

Таким образом, если вопрос о получении беспузыристой отливки из *чистой стали* в настоящее время нельзя назвать вполне решенным, тем не менее нужно отдать полную справедливость заслугам завода Terre-Noire в научной подготовке правильного пути к такому решению. Можно сказать, что теперь приподнято покрывало, окутывавшее так долго перед глазами многих исследователей причины пузыристости стальных отливок. Остается урегулировать количество вводимого в сталь кремния до возможного минимума, чтобы не прибегать к излишнему введению марганца для нейтрализации действия кремния, вытесняющего углерод из его соединения с железом. Не менее важны также и указания г. Пурселя относительно разжижения и отстоя силикатов, образующихся при добавлении ферромангана, в конце операции, при получении мартеновской или бессемеровской стали.

Из числа выставленных заводом Terre-Noire отливок упомянем о следующих:

1) Два снаряда 32-сантиметрового калибра, прошедшие сквозь железную броню в 30 *см* толщиною, с деревянною подкладкою в 1 *м* толщиною. Оба снаряда были выпущены не нормально к броне, а под углом в 20 градусов и, пройдя броню, остались совершенно целы, с небольшою деформациею в головной части, именно: сжатие снарядов по оси составляло 14—19 *мм*, при всей длине снарядов 785—787 *мм*; разбухание составляло 0,5 *мм*; уклонение вершины в сторону 17,5—27 *мм* от оси снаряда.

2) Ствол для 14-сантиметровой морской пушки. Ствол этот был испытан комиссией морских артиллерийских опытов в Рюэлле. Сделано сто выстрелов различными зарядами, начиная 4,2 *кг* и кончая 4,9 *кг*; вес снарядов прогрессивно увеличивался от 18,65 до 21 *кг*. Деформация ствола

после этой пробы оказалась несколько меньшей, нежели в стволах кованой стали, испытанных при тех же условиях.

3) Пробная труба, выдержавшая пороховую пробу в Бурже.

4) Нагрубо обточенная болванка для 24-сантиметрового орудия; вес ее $11^1/_2$ *т*.

5) Внутренние трубы для орудий 24- и 32-сантиметровых калибров; цапфельное кольцо для 42-сантиметровой пушки, вес его $6^1/_2$ *т*; мотыль для 400-сильной паровой машины; локомотивный коленчатый вал и т. п.

Все выставленные заводом Terre-Noire стальные отливки по чистоте поверхности могут сравниваться с лучшими чугунными отливками. Однако в более или менее толстых болванках, особенно в центральных частях, в изломах, заметно рассеяны те частные усадки, о которых мы говорили выше при разборе рыхлости в центральных частях литых болванок.

Рассматривая полость пузырей, запутывающихся в средних частях стальных болванок, мы видим, что в большинстве случаев нижняя часть пузыря имеет более или менее гладкое полусферическое очертание, а боковые стенки, в особенности верхняя часть, усеяны древовидными ростками, дендритами самых разнообразных очертаний (фиг. 27). При внимательном сличении этих ростков с разрывными кристаллами усадочных пустот легко заметить, что между теми и другими в большинстве случаев существует сходство и что дендриты в пузырях происходят из разрывных кристаллов, встречаемых пузырем при его движении вверх, когда сталь уже настолько загустела, т. е. настолько наполнилась образующимися в ней разрывными кристаллами, что для пузырей нет свободного прохода. При подъеме пузыря происходит движение окружающей его жидкости, вращение и раздвигание плавающих в ней разрывных кристаллов, а так как кристаллы, имея ту же температуру, как и окружающая их жидкость, весьма нежны и способны, при малейшем поводе, тотчас же вновь растворяться в жидкой стали, то, при движении между ними пузыря, кристаллы частью размываются сталью, частью искривляются, зацепляют друг за друга и образуют дендриты самых прихотливых форм, в которых иногда совершенно невозможно отыскать даже малейшее сходство с теми разрывными кристаллами, из которых они произошли, как это видно на фиг. 28. Один из таких ростков изображен на фиг. 29.

Отсюда видно, что для уничтожения образовавшихся разрывных кристаллов, т. е. для полного растворения их в окружающей жидкой стали, достаточно произвести сравнительно небольшое движение, так как всплывание газового пузыря и движение его между этими кристаллами уже достаточно для того, чтобы почти совершенно размыть их. Обстоятельство это приводит к заключению о возможности уничтожения игольчатого сложения наружных слоев стальных болванок, отлитых в металлическую изложницу, а также и о возможности уничтожения частных усадок для рыхлости внутренних частей стальных болванок. В самом деле, если при отливке стали в изложницу эту последнюю приводить в быстрое вращательное движение, тогда растущие нормально к поверхности изложницы разрывные кристаллы не в состоянии будут так сильно развиваться, как это имеет место при спокойном росте, и сталь будет нарастать гладкими, аморф-

ного сложения слоями. Если вращение изложницы, а с нею и застывающих слоев стали продолжать до тех пор, пока не застынет самая сердцевина болванки, тогда затвердевание всей массы болванки будет идти такими же гладкими слоями, как и непосредственно около стенок изложницы, а вместе с тем уничтожится и повод к образованию частных усадок, или рыхлости внутренних слоев болванки, что должно привести к получению совершенно плотной массы стали, не нуждающейся в уплотнении ни молотом, ни прессом. Достаточно будет подвергнуть полученный слиток отжиганию для разрушения крупнокристаллической структуры, которую сталь получит уже после затвердевания при медленном охлаждении слитка вслед за отливкой. Так как в начале отливки от сильного охлаждающего действия стенок изложницы рост кристаллов идет очень быстро, то и скорость вращения формы должна быть возможно большая. Вследствие же трения жидкости о стенки сама жидкость станет тоже вращаться, а потому следует попеременно изменять направление вращения, т. е. приводить форму в круговое возвратное движение, с быстрым порывистым изменением направления.

Для цилиндрических болванок, в которых впоследствии высверливается канал, например для пушечных, удобнее применить вращение около горизонтальной оси, положив изложницу после отливки на бок, как только подстынет верхняя корка; для пустотелых снарядов — лучше наклонное положение. Нельзя не согласиться, что постоянным перемешиванием металла во время вращения поддерживается его однородность и вместе с тем уничтожается ликвация.

Прием этот напоминает так называемую центробежную отливку; но сходство только и ограничивается внешностью. До сих пор смысл центробежной отливки подразумевался в развитии центробежной силы, а следовательно, в уплотнении металла по направлению к окружности, например в уплотнении обода чугунного вагонного колеса. На самом деле, если при центробежной отливке чугунных изделий получается более плотный чугун, то причину этого явления нужно приписать не центробежной силе, а только движению жидкости, мешающему образованию разрывных кристаллов.

Я полагаю, что, руководствуясь только что сказанными соображениями, можно значительно улучшить приготовление чугунных прокатных валков с закаленной поверхностью, чугунных артиллерийских орудий и снарядов, некоторых бронзовых отливок и т. п.

Остается рассмотреть еще один вопрос, который, впрочем, поднят в нашем Обществе уже более 10 лет тому назад, по поводу моего сообщения о структуре стали [7]: нужна ли ковка для стали, хотя бы отлитой без пузырей и без рыхлости, т. е. без названной нами частной усадки?

Для ответа на этот вопрос достаточно было бы сослаться на опыты, произведенные в 1869 г. нашей комиссией при 1 отделе [8]. Но я приведу

---

[7] «Записки и‹мп›. Русск‹ого› технич‹еского› общества», 1868, № 7.

[8] Отчет комиссии о первом ряде опытов см. «Записки и‹мп›. Русск‹ого› технич‹еского› общества» 1870 г., вып. 2.

здесь еще несколько новейших данных (см. прилагаемые таблицы 2 и 3).

Достаточно сравнить числа табл. 2 и 3, чтобы убедиться в бесполезности какого бы то ни было давления для улучшения механических качеств стали. Все дело заключается в литейном искусстве. Низкий уровень механических качеств, отличающих литую неотожженную сталь, прессованную или непрессованную, от отожженной или кованой, объясняется крупнокристаллическим сложением, присутствием частных усадок и в особенности грануляций. Последние развиваются от растягивающих усилий, во время остывания болванки, при красном калении стали. Усилиям этим подвергаются наружные слои в начале остывания, а внутренние — в конце остывания. В этом отношении весьма невыгоден способ отливки Витворта с внутренним стержнем; употребляемый им сердечник не позволяет свободному стягиванию слоев пустотелой цилиндрической болванки, заставляет их растягиваться вслед за отвердеванием, что неминуемо развивает грануляции. Вот причина, почему прессованная под большим давлением сталь в виде кольцевой болванки обладает весьма незначительной тягучестью, даже и после отжигания. Как известно, Витворт подвергает сталь ковке после прессования, и из табл. 3 видно, что только после этой ковки прессованная в пустотелых болванках сталь может сравниться по своим механическим качествам с литой и отожженной сталью завода Terre-Noire, как это видно из сличения с цифрами табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытания образцов стали растяжением на заводе Terre-Noire

Диаметр 14 *мм*, длина 100 *мм*

Образец	Предел упругости, *кГ/см²*	Абсолютное сопротивление, *кГ/см²*	Окончательное удлинение, %	Образец	Предел упругости, *кГ/см²*	Абсолютное сопротивление, *кГ/см²*	Окончательное удлинение, %
1) Кованая сталь *				**2) Литая некованая** **			
Углерод <в %> 0,150	2200	3 570	34,0	Углерод <в %> 0,287	2100	4470	8,8
0,490	2620	4 880	24,0	» 0,459	2650	4330	3,0
0,709	3160	6 800	15,0	» 0,750	3050	6420	3,5
0,875	3420	7 410	9,5	» 0,875	3920	6450	1,5
После закалки в масле *				*После закалки в масле и отжигания* **			
Углерод <в %> 0,150	3280	4 680	28,6	Углерод <в %> 0,287	3160	5180	24,6
0,490	4460	7 050	12,0	» 0,459	3350	5550	19,2
0,709	6880	10 710	4,0	» 0,750	3580	7420	14,3
0,875	9050	10 600	1,0	» 0,875	4600	8260	3,5

* Содержание марганца около 1/4%, кремния — следы.

** Содержание марганца около 3/4%, кремния — около 1/4%.

Из всего вышесказанного, мне кажется, можно вывести следующее заключение.

Вопрос о приготовлении стальных изделий прямо отливкою в окончательную форму можно считать в настоящее время решенным в главной его части, т. е. в отношении беспузыристости. Достигается это или возможно сильным перегреванием стали перед отливкою, или же введением в нее кремния, или, наконец, давлением окружающей атмосферы; этот последний способ, требующий небольших давлений — от 6 до 10 *атм*, — заслуживает предпочтения перед другими. Для придания отлитой стали наилучшей структуры и желаемых механических качеств достаточно под-

Таблица 3

Результаты испытания образцов стали растяжением на Обуховском заводе

Диаметр образцов 12,5 *мм*, длина от 150 до 250 *мм*

Образец	Предел упругости, *атм*	Абсолютное сопротивление, *атм*	Окончательное удлинение, %	Примечание
От 8-дюймового снаряда из бессемеровской стали № 2046 Обуховского завода, *некованая*				Среднее из двух анализов ‹в %›:
Неотожженная	2800	6000	4,0	C=0,70; Si=0,07;
Отожженная	3800	7100	8,0	Mn=0,54
Кованая бессемеровская пушечная сталь, отливка № 1095	2700	6000	16,5	C=0,43; Si=0,04; Mn=0,30
То же, другой образец	2810	6100	15,5	
Кованая и *отожженная* бессемеровская сталь от скрепляющих колец для 9-дюймовых мортир (из многочисленных образцов)	2500 до 2800	6500 до 7400	20,0 до 14,0	C=0,35; Si=0,01; Mn=0,12 до C=0,45; Si=0,1; Mn=0,30
От *кованого* 11-дюймового снаряда завода Круппа	—	6900	10,0	C=0,68; Si=0,23; Mn=0,29
От *некованого отожженного* 9-дюймового снаряда зав‹ода› Terre-Noire	3800 4000	7100 8100	3,4 5,6	C=0,57; Si=0,24; Mn=0,29
От *некованого закаленного* 9-дюймового снаряда г. Износкова	5600	5600	0,4	C=0,72; Si=0,22; Mn=0,61
Прессованная в жидком состоянии под давлением около 2100 *атм*:				Сталь тигельная с содержанием углерода около 0,54%
1) *без всякой дальнейшей обработки*	2833	4666	2,4	Среднее из 6 образцов
2) *отожженная*	3175	5275	6,7	Среднее из 4 образцов
3) *кованая и отожженная*	3200	6400	16,0	Среднее из 2 образцов
Прессованная в жидком состоянии под давлением около 1200 *атм*:				
Кованая и *отожженная*	2650	4900	18,1	Среднее из двух образцов

вергнуть ее отжиганию, соединенному с более или менее быстрым охлаждением и отпусканием.

Особенное внимание, при отливке стальных изделий, следует обращать на удаление усадочной рыхлости и грануляций, как зернистых, так и призматических. Рассмотренные нами причины образования частных усадок или рыхлости могут быть удалены соответственными мерами, из которых, по моему мнению, на первом плане должно стоять относительное движение жидкости около затвердевающих слоев. Что же касается грануляций, то употребление земляных, трудно проводящих теплоту, форм, медленное остывание в них стали после отливки и устранение препятствий к свободному стягиванию всех частей отлитого изделия при остывании могут предупредить их развитие. Эти же меры служат и к устранению трещин в литых изделиях.

Для самых простых форм этим требованиям ближе всего может удовлетворять, не обусловливая притом сильного перегрева стали, что особенно важно в отношении грануляций, толстостенная чугунная, мелкопродырявленная изложница, снабженная внутри пористою огнеупорною набойкою незначительной толщины.

Прессование стали глухим поршнем, имеющее значение только при отливке самых простых форм, не имеет будущности. Молот и прокатный стан необходимы для получения изделий таких форм, при отливке которых нельзя принять всех мер, обусловливающих получение плотной отливки вполне определенных размеров и с гладкой поверхностью.

13

О ПРЯМОМ ПОЛУЧЕНИИ ЛИТОГО ЖЕЛЕЗА И СТАЛИ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ [1*]

(Сообщение в и<мп>. Р<усском> т<ехническом> о<бщест>ве 20 января 1899 г.)

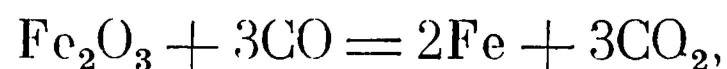
Милостивые государи!

Железо, как всем вам известно, извлекается из земной коры не в металлическом состоянии, а в виде различных соединений, по преимуществу с кислородом, в виде окислов, иногда вместе с окислами других металлов, также — в виде углежелезистой соли и отчасти с серою, в виде колчеданов. О других соединениях я совсем не упоминаю, потому что никакой существенной роли в железной промышленности они не играют.

В окисленном состоянии железо встречается в виде окислов, водных и безводных. Нагреванием или, собственно говоря, обжиганием можно привести все вышеуказанные соединения к безводному окислу железа, изображаемому формулой Fe_2O_3 и содержащему 70% металлического железа. Это так называемая полутораокись, или просто окись железа, очень часто и в больших размерах встречается в природе. Другая безводная окись, изображаемая формулой Fe_3O_4 и, как кажется, более постоянная, содержащая 72,4% металлического железа, встречается также в гро-

мадных массах в природе и носит название магнитной окиси, потому что обладает магнитными свойствами. Еще вид безводной окиси, также магнитной, получаемой случайно при заводских производствах как окалина, содержит больше металлического железа, нежели предыдущая окись, а именно 75%, и изображается формулой Fe_6O_7.

Если бы в природе железо встречалось в виде чистого окисла, то, конечно, легко было бы извлечь из него железо, так как химия научает нас чрезвычайно простыми средствами и приемами освободить железо от соединенного с ним кислорода — восстановить его из окислов. Наиболее удобным и дешевым средством для восстановления железа в больших массах служит обыкновенно углерод как вещество, весьма распространенное в природе и всегда имеющееся в нашем распоряжении в больших количествах. Углерод может служить восстановителем или в твердом состоянии, или в состоянии газа, представляющего продукт несовершенного сгорания углерода; в обоих случаях восстановление происходит при более или менее возвышенной температуре. Особенно легко восстанавливается железо при помощи газообразного продукта неполного сгорания углерода, называемого углеродной окисью и изображаемого формулой CO; эта окись превращается тогда в углекислый газ, принимая в каждую частицу один атом кислорода. Реакция может быть изображена следующим образом:



$$Fe_2O_3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2,$$

причем температура, необходимая для совершения ее, гораздо ниже той, какая необходима для раскисления или восстановления железа при помощи твердого углерода.

Таким образом, мы очень легко справлялись бы с процессом получения железа из руд, если бы имели в природе в нашем распоряжении чистый окисел. В природе, однако, все эти окислы отчасти соединены химически, отчасти перемешаны механически с различными сопровождающими окислы пустыми породами и представляются в так называемом орудененелом состоянии в виде *руд*. Попадаются, правда, почти чистые куски железных окислов; но все-таки в самых лучших разновидностях, которые встречаются (впрочем, не часто) в некоторых странах, мы находим этот железный окисел в виде более или менее пористой породы, в порах которой включено хотя небольшое количество посторонних веществ. Так, например, некоторые красные железняки нортумберланда и кумберланда, представляющие собой чрезвычайно чистый окисел железа, в порах содержат отложившийся кремнезем или известковый шпат в виде мелких частиц или кристалликов, причем количество чистого окисла железа достигает до 98—99% по весу; такую руду можно практически рассматривать, пожалуй, как чистый окисел. Если от этих чистых руд пойдем дальше в рассмотрении различных разновидностей, то увидим, что количество включений или вкраплин постепенно увеличивается, пустые породы являются уже в прожилках, прослойках, в виде пятен, гнезд и т. д. Затем мы дойдем до таких руд, что уже трудно будет сказать, чего в них больше: окисла железа или пустых пород, сопровождающих его; наконец, придем

постепенно к тому, что уже пустая порода составляет преобладающую массу и лишь включает в себе вкрапленный в незначительном количестве окисел железа.

Понятно, что, переходя от чистого окисла железа до такого ничтожного включения его в пустой породе, мы проходим целый ряд различных руд от совершенно чистых и богатых до средних, бедных и, наконец, до совсем уже непохожих на руду пород, практически не представляющих уже ни малейшей выгоды при извлечении из них железа. Таким образом, где-то на половине стоит граница между рудой и не рудой; эта граница для разных местных условий расположена различно между этими двумя, так сказать, крайними точками. Только для некоторых местностей, где топливо и рабочий труд дешевы, может быть, является некоторая выгода извлекать железо из руд, сравнительно бедных, мало содержащих железа; для некоторых местностей и среднее содержание является невыгодным, так что там можно обрабатывать с выгодой только богатые руды. В этом отношении нельзя указать такого предельного относительного или процентного содержания железного окисла или металлического железа, которое отделяло бы руду от не руды. Но для большинства случаев можно сказать, что содержание металлического железа в обожженной руде ниже 40% уже представляет значительные затруднения при извлечении железа; для этого необходимы благоприятные местные условия. За хорошее среднее содержание, при котором, как кажется, при всех условиях можно с выгодой работать, считается около 50% металлического железа.

Теперь взглянем, какими путями можно извлечь железо из руд, если оно там находится в тесной смеси с пустыми породами и если вышеозначенная реакция, хотя бы даже она и совершилась вполне по отношению к содержащемуся в руде окислу, еще не может дать нам чистого железа. Если б мы в куске руды, хотя бы и богатой, восстановили железо из его окисла, то получили бы лишь грязную железную губку, во-первых, потому, что соответственный объем железа меньше, нежели объем окисла, а во-вторых, потому, что руда, будучи пропитана различными посторонними веществами, после восстановления представляла бы из себя чрезвычайно нечистый, неудобный к употреблению кусок железа. Эти обстоятельства обусловливают различные приемы при извлечении железа из руд, смотря по тому, какие вещества являются примесью к железному окислу, как эти вещества включены в руде, т. е. рассеяны ли они по всей ее массе или перемешаны так, что не представляется возможности отделить их механически от окисла, или эти посторонние вещества являются в виде прожилок, прослоек или отдельных включений и т. п.

Иногда можно обогатить руду, если представляется какая-либо возможность, хотя бы после раздробления, отделить более или менее чистые части ее от включенных пустых пород, т. е. если включение представляет из себя некоторые отдельные зерна, прослойки, прожилки и т. д. Тогда является возможность различными путями, например промывкой или при помощи дутья, пользуясь разностью удельного веса, отделить пустую породу от железного окисла. Если же смешение окисла с пустой породой очень тесно и при более или менее крупном раздроблении нет надежды

сделать возможным такое разделение, то можно прибегнуть к магнитному свойству некоторых железных окислов.

Так, если уже по природе окисел, заключающийся в руде, будет магнитен, то достаточно раздробить руду, подвергнуть ее действию магнита и вытянуть из общей раздробленной массы окисел и таким образом обогатить руду, освободить ее от пустой породы; если же по натуре окисел руды немагнитен, то можно обжиганием обратить его в магнитный. Именно, если мы будем обжигать его при малом притоке воздуха, тогда он отдает часть кислорода и превращается в магнитный окисел.

Все это можно проделать с рудой прежде, нежели приступить к восстановлению; но при некоторых условиях можно это сделать и после восстановления. Тогда в раздробленной массе будет смесь восстановленного металлического железа и кусочков пустой породы; при помощи магнита с бóльшим совершенством теперь можно отделить железо от пустой породы, так как восстановленное железо все очень магнитно, при обжигании же руды нельзя рассчитывать на полный переход всего окисла в магнитный. Во всяком случае, после того или другого вида обогащения все-таки мы не получим совершенно чистого окисла или чистого металла. Несравненно лучше можно освободить железо обработкой его при высокой температуре, одновременно с восстановлением или несколько позже восстановления.

Здесь может быть несколько случаев. Во-первых, мы можем, восстановив железо и получив таким образом чрезвычайно трудноплавкое вещество, возвысить вслед затем температуру до такой степени, что сопровождающие железо породы расплавятся и вытекут, вытопятся из неплавящейся железной губки. Если они недостаточно плавки сами по себе, то можно прибавить некоторые вещества, увеличивающие их плавкость. Само железо, если оно будет защищено от окислительного действия воздуха или печных газов, при такой высокой температуре обладает способностью слипаться так, как слипаются размягченные кусочки воска, смолы или резины. Если это слипание произошло между совершенно чистыми металлическими поверхностями, то соединение делается так совершенно, что даже в случае насильственного растягивания оно может разорваться совсем не по тому месту, где слиплось. Эта способность, известная под именем свариваемости, чрезвычайно важна в том отношении, что мы можем получать железо в больших компактных кусках непосредственно из руд, при их восстановлении, без расплавления (*сварочное железо*).

Так, подвергая руду восстановлению при помощи углеродной окиси, которая, как я сказал, при сравнительно невысокой температуре уже действует восстановительно, можно получить мягкое железо в пористых кусках; возвышая затем температуру полученного железа под защитой той же углеродной окиси от окислительного действия кислорода печных газов или воздуха и доведя железо до состояния свариваемости, мы легко можем сжать отдельные куски его вместе, слепить их и спрессовать при помощи жома или молота в компактную массу, причем пустая порода, будучи сильно размягчена или даже расплавлена, выжимается почти до-

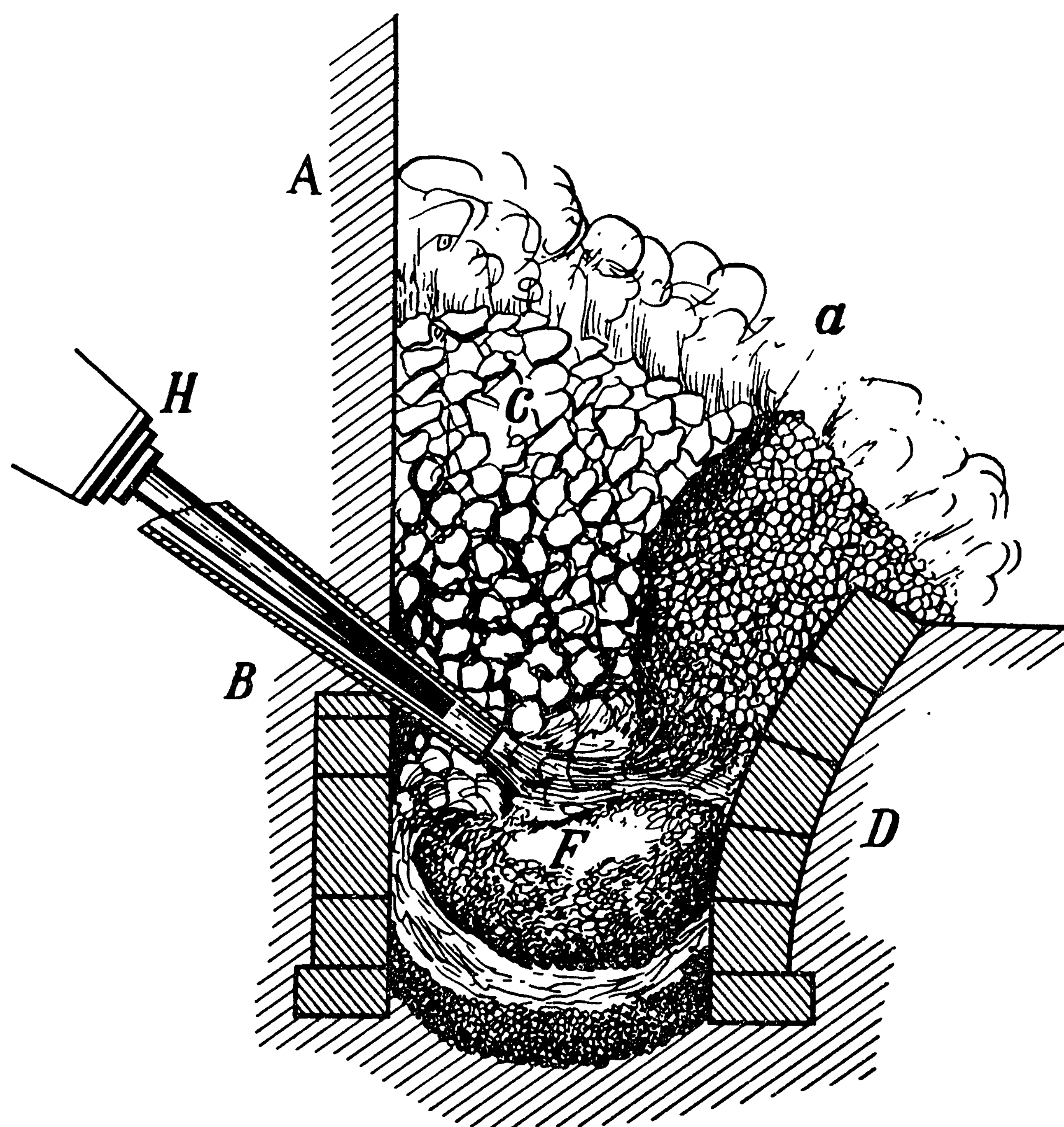
чиста из полученного железного кома в виде так называемого шлака. Если только вся операция совершилась без доступа воздуха или окислительных газов, то все восстановленное железо мы получаем почти без потери в виде куска, который прямо может служить для изготовления какого-либо железного изделия. Вот самый простой и, может быть, самый первый способ, который был применен первобытным человеком при извлечении железа из руд.

Когда железная промышленность получила средства достигать в своих печах и аппаратах такой высокой температуры, что железо перестало быть практически неплавким или даже очень трудноплавким, тогда явилась возможность возвысить температуру восстановленной руды так, чтобы не только пустая порода, но и само железо совершенно расплавилось. Но как эти два вещества весьма различны по удельному весу (жидкое железо слишком в два раза тяжелее шлака) и между собой не смешиваются, то железо без всяких механических усилий, вследствие простого физического закона, располагается внизу в виде сплошного слоя жидкого металла, а вверху остаются плавающие шлаки; остается только застудить ванну, после чего получается слиток плотного, освобожденного от пустых пород железа. Мы получаем так называемое *литое железо*.

Можно пользоваться еще и другими способами. Например, раз мы получили возможность получать в расплавленном состоянии не только пустые породы, но и железо, то можно начать всю работу с плавления руды. Расплавленную массу можно прямо подвергнуть восстановительному действию углерода, взятого в твердом виде, или в виде раствора в расплавленном железе.

Углерод, внесенный в эту расплавленную руду, сейчас же действует восстановляющим образом на окисел железа; в результате этой реакции получается улетучивающийся из ванны продукт неполного сгорания углерода (углеродная окись), о котором говорено выше, и металлическое железо; если температура ванны выше, нежели точка плавления самого железа, то последнее сейчас же осаждается на дно ванны в виде жидкого металла; если же температура недостаточно высока, то осаждающееся железо получает вид комочков, сваривающихся (слипающихся) между собою в большой ком или крицу. Но как твердый углерод при очень высоких температурах энергично поглощается раскаленным железом и в особенности легко растворяется в расплавленном железе, то при восстановлении твердым углеродом происходит и обуглероживание железа, что при обилии угля может вести к получению не только стали, но даже и чугуна.

Я не буду входить в подробности различных способов получения железа, потому что это не составляет предмета моего сообщения; я касаюсь этого вопроса лишь в общих чертах, чтобы сначала взглянуть, так сказать, с птичьего полета на существующие способы получения железа из руд и проследить, каким образом исходя из маленького сыродутного горна, дающего непосредственно кусок мягкого ковкого железа, мы пришли теперь к огромной доменной печи, в которой получается уже не ковкое железо, а чугун, требующий особой переработки на ковкое железо, причем бывший прямой путь получения железа превратился в обходный.



Фиг. 1

Возьмем одно из простейших устройств для получения железа из руд — сыродутный каталонский горн, изображенный на фиг. 1 и представляющий небольшое углубление квадратной или прямоугольной формы (шириной и длиной около 70—80 *см*, глубиной около 40—50 *см*), прилегающее к стенке *A*, за которой помещается кожаный мех *H*, доставляющий воздух в горн через наклонную фурму (сопло) *B*. Средина горна заполняется древесным углем *C*, а со стороны *D*, противоположной фурме, засыпается отсеянная от мелочи руда *E*. Для лучшего разграничения руды от угля поверхность первой покрывается слоем *a* смоченной и плотно пробиваемой угольной мелочи. Во время дутья из фурмы на раскаленный уголь этот последний сгорает непосредственно около фурмы в углекислый газ, который, распространяясь по дальнейшей массе раскаленного угля и превращаясь в углеродную окись, направляется большею частью сквозь слой довольно рыхло лежащей руды; при этом происходит восстановление железа при помощи окиси углерода, о котором мы говорили раньше. Руда по мере восстановления сдвигается ниже, подводится под дутье в фокус горения, где восстановленное железо нагревается до температуры сваривания и где происходит вытапливание шлаков.

При дальнейшем притоке сюда восстановленной руды рабочий скатывает железный ком, постоянно нарастающий; получается железная

крица *F*, пропитанная, как губка, постоянно вытапливающимися шлаками. По мере накопления известного количества шлаков они выпускаются чрез шлаковое отверстие около дна горна. Так как восстановление железа при таких условиях не может достигаться в полной мере, кроме того, и восстановленное железо отчасти окисляется под действием свежей струи воздуха около фурмы, то естественно, что шлаки содержат большое количество железных окислов, и таким образом происходит значительный угар железа.

Когда вся засыпь руды будет переработана, собирают отдельные, несоединившиеся с крицею куски железа в оставшемся шлаке и присоединяют их к крице; затем последнюю вытаскивают из горна, обжимают под молотом и после рассечки на 3—4 куска проваривают в сварочном горне и проковывают в полосы. Горн, по вынутии крицы, освобождают от шлаков, очищают и приступают к следующей операции.

Весь процесс продолжается около 5—6 час.; в горнах вышеуказанного размера за один раз обрабатывается около 15—18 пудов руды.

Для горнов почти вдвое большей величины, где за один раз перерабатывается до 500 *кг* (30 пудов) руды, наблюдения дают следующие числа: продолжительность процесса 6 час., причем испаряется около 100 *кг* воды, идущей на смачивание угольной мелочи и мелкой руды; воздуха вдувается около 2800 *кг* (около 7,7 *кг* в минуту); угля сжигается 545 *кг* (около 4 $м^3$); прокованных полос железа получается около 152 *кг*. Средним числом, на 100 *кг* железной полосы сжигается 340 *кг* древесного угля; 100 *кг* руды, содержащей 44,6% железа, дают 31 *кг* железной полосы; следов‹ательно›, угар составляет (44,6—31)/44,6=0,305 или 30,5% содержащегося в руде железа.

Понятно, что такой потери не могла выдержать все больше и больше развивавшаяся железная промышленность, когда начали преследоваться экономические интересы производства; небольшая производительность таких маленьких печей делала рабочую плату большим налогом на производство, так как на одного рабочего приходилась очень малая доля продукта. Расход угля был чрезвычайно большой вследствие весьма значительной потери теплоты, уносимой продуктами горения и лучеиспускаемой в пространство из открытого мелкого горна.

Все подобные обстоятельства привели к тому, что этот маленький открытый горн стал постепенно расти, преимущественно увеличиваться в высоту; в одном и том же аппарате стала увеличиваться производительность и уменьшаться потеря теплоты; таким образом, и непосредственные расходы на приготовление железа, и накладные, вследствие уменьшения количества рабочей силы и возрастания производительности, стали уменьшаться. Появился род небольших шахтных печей, называвшихся крестьянскими (в Швеции, Финляндии), еще выше строились печи в Германии, в Штирии, Каринтии, получившие там название Stücköfen, т. е. штучных печей. Эти Stücköfen'ы, в свою очередь, также увеличивались в размерах; вместе с тем увеличивалась и их производительность; но так как последняя тесно связана с количеством теплоты, развиваемой в печи в данную единицу времени, а следовательно, и с количеством угля, сжигаемого

в ту же единицу времени, то прямым последствием явилась необходимость вдувать в печь все большее и большее количество воздуха под более усиленным давлением и с большею затратою механической силы. Для того дутья, которое требовалось в небольшой сыродутный горн, в былые времена, пожалуй, достаточно было силы мальчика или девочки, помогавших в работе отцу, теперь же не только силы взрослого рабочего было недостаточно, но уже нескольких человек было мало — потребовались топчаки и вóроты, наконец, была применена водяная сила, до тех пор служившая лишь для действия мельниц. Наконец, после Stücköfen'ов появились так называемые Blanofen'ы и Flossofen'ы, которые были больших размеров, нежели штучные печи.

Здесь я хотел бы обратить ваше внимание на то, какими изменениями в процессе восстановления, сварки и плавки сопровождался рост этих печей и какие изменения происходили в качествах получаемых продуктов. В маленьком сыродутном горне так называемый «фокус горения» занимает очень небольшой объем, приток воздуха незначительный, количество горящего угля тоже небольшое; непосредственно под фурмой происходит полное горение, — здесь уголь сгорает в углекислый газ, развивается высокая температура, которая и необходима для сваривания лежащего около фурмы куска железа. Далее, на очень незначительном расстоянии от фурмы углекислый газ под влиянием большого количества раскаленного угля превращается в углеродную окись, но как это превращение связано с поглощением большого количества теплоты, то в близком соседстве с фокусом горения быстро падает температура. Такой быстрый переход весьма благоприятен для данного процесса потому, что в районе очень высокой температуры, в прикосновении с раскаленным углем, как сказано было раньше, железо могло бы значительно обуглеродиться, если бы тому не воспрепятствовал избыток углекислого газа, отчасти и свободного кислорода в этом районе. Ранее вступления в эту жаркую область горна железо могло лишь восстановиться вполне из окисла при помощи углеродной окиси, которая действует сильно восстанавливающим образом при более низких температурах, когда обуглероживающее действие твердого угля очень слабо или даже вовсе не обнаруживается. Таким образом, при быстром переходе из области сравнительно низкой температуры в жаркую часть горна железо лишается защиты углеродной окиси от окисления, а это последнее не допускает железо до обуглероживания твердым углем в жарком поясе горна, где оно лишь сваривается в компактную массу и освобождается от оплавляющихся пустых пород и шлаков.

При этом необходимо иметь в виду, что здесь восстановление совершается почти исключительно в районе действия углеродной окиси, а не твердого углерода; это обстоятельство имеет то весьма важное значение, что углеродная окись действует восстановительно или, по крайней мере, вполне восстанавливает из руды лишь одно железо, оставляя в окисленном состоянии и кремний, и марганец, и фосфор. Вот почему сыродутный горн вообще дает чистое, высоких качеств сварочное железо даже в тех случаях, когда руда содержит довольно много фосфора.

Представим себе теперь, что размеры печи растут, что количество

горящего угля увеличивается, что вместо маленького меха работает большой, даже несколько мехов, что район высокой температуры в поясе горения значительно расширяется. Положим, что мы имеем перед собой уже шахтную печь значительной производительности, так называемую Blauofen, и взглянем, что там будет происходить.

Поднимающийся вверх по шахте газ углеродной окиси точно так же, как и в сыродутном горне, восстанавливает железо из руды; но вследствие расширения области высоких температур восстановление железа заканчивается, когда оно еще далеко от пояса горения. Продвигаясь затем между раскаленным углем в область фурмы, где происходит окончательное сваривание железной губки, железо прикасается к углю под защитою окиси углерода, обильно распространенной по всему жаркому району, и настолько успевает обуглеродиться с поверхности кусков, что некоторая часть его превращается в чугун. Будучи более легкоплавким, нежели железо, чугун оплавляется с поверхности железных кусков при приближении к фурме и стекает на под печи, остальная же масса железа сваривается в общую крицу. И действительно, уже в больших Stücköfen'ах стал получаться в небольших количествах чугун, вытекавший из печи вместе со шлаками, спускаемыми перед выниманием крицы. В Blauofen'ах это явление значительно усилилось; мало того, уже в этих печах можно было получать почти все железо в виде чугуна, — стоило только отодвинуть фурму ближе к наружной поверхности печи [1], уменьшить рудную колошу и усилить дутье. При переходе отсюда к печам, постоянно дающим чугун, Ffossofen'ам и Hochofen'ам, т. е. к доменным печам, оставалось уже идти по выработанному опытом пути, т. е. еще более расширить район высокой температуры около фурм; сужением горна, выдвиганием фурм назад к стенке печи, еще большим уменьшением рудной колоши и дальнейшим усилением дутья теперь уже обеспечивалось постоянное получение лишь чугуна и шлаков, без кусков не перешедшего в чугун железа.

Экономическая сторона производства чрез это очень много выиграла. Теперь ход печи сделался непрерывным; нет надобности ограничивать завалку печи лишь таким количеством, какое соответствует наибольшей величине крицы, которую можно вынуть из горна (как это было, например, при штучных печах), и каждый раз останавливать печь для новой загрузки; оба получаемых продукта — и чугун, и шлаки — вытекают из печи, не требуя таких усиленных и тяжких работ нескольких человек, как при вынимании крицы.

Потеря теплоты, развиваемой горением топлива, доведена теперь до минимума. Если представим себе высокую печь, а в настоящее время можно сделать ее очень высокой, то увидим, что продукты горения, поднимаясь чрез лежащие в шахте куски руды и угля, могут отдать им почти всю свою теплоту, восстановить содержащееся в руде железо и выйти из печи уже чрезвычайно сильно охлажденными. Увеличивая высоту печи, можно дойти до того, что отдача теплоты вновь забрасываемым холодным

[1] В этих печах, как и в штучных, при плавке на железо конец фурмы вдавался внутрь печи.

материалам может быть доведена до полного совершенства. Неудобство здесь заключается главнейше в том, что газы уже не в состоянии будут проходить так свободно чрез очень высокий и уплотненный столб, и таким образом нужно сильно увеличивать давление дутья, а на это нужно тратить бо́льшую механическую силу, что и уравновешивает выгоду от сбережения теплоты в печи.

Улучшив значительно экономическую сторону производства, главнейшим образом от установления *непрерывного* хода печи, мы вместе с тем существенно изменили качества даваемого печью продукта: вместо ковкого железа, служащего непосредственно для удовлетворения наших потребностей, мы получили чугун, представляющий из себя, так сказать, сильно загрязненное железо. В самом деле, после восстановления углеродною окисью в поясах печи, удаленных от жаркого фурменного района, губчатое железо в жарком поясе печи насыщается углеродом, кремнием, марганцем, фосфором и другими элементами, восстановляемыми действием твердого углерода при высоких температурах. Для возвращения к мягкому ковкому железу теперь необходимо освободить железо от этих посторонних элементов путем обратного процесса — окислительного, и таким образом затратить вновь работу на уничтожение того, что сделано в жарком поясе доменной печи при переходе железа от восстановления к расплавлению.

Такой обратный процесс называется *свежеванием* чугуна. При этом мы можем получить железо точно так же в двух видах: или в сварочном, нерасплавленном, или в литом, расплавленном виде. Это зависит от того, как высока будет температура, при которой мы будем вести этот обратный окислительный процесс. Если температура будет выше точки плавления чистого железа, тогда при отнятии посторонних элементов мы получим железо в жидком виде (литое железо); если же температура при этом процессе будет ниже плавления железа, то, конечно, получим его в твердом виде, хотя и сильно размягченном (сварочное железо) — в крицах.

К числу способов свежевания, дающих железо в сварочном виде, относятся кричный и пудлинговый, а к числу способов, дающих литое железо, принадлежат бессемеровский и сименс-мартеновский.

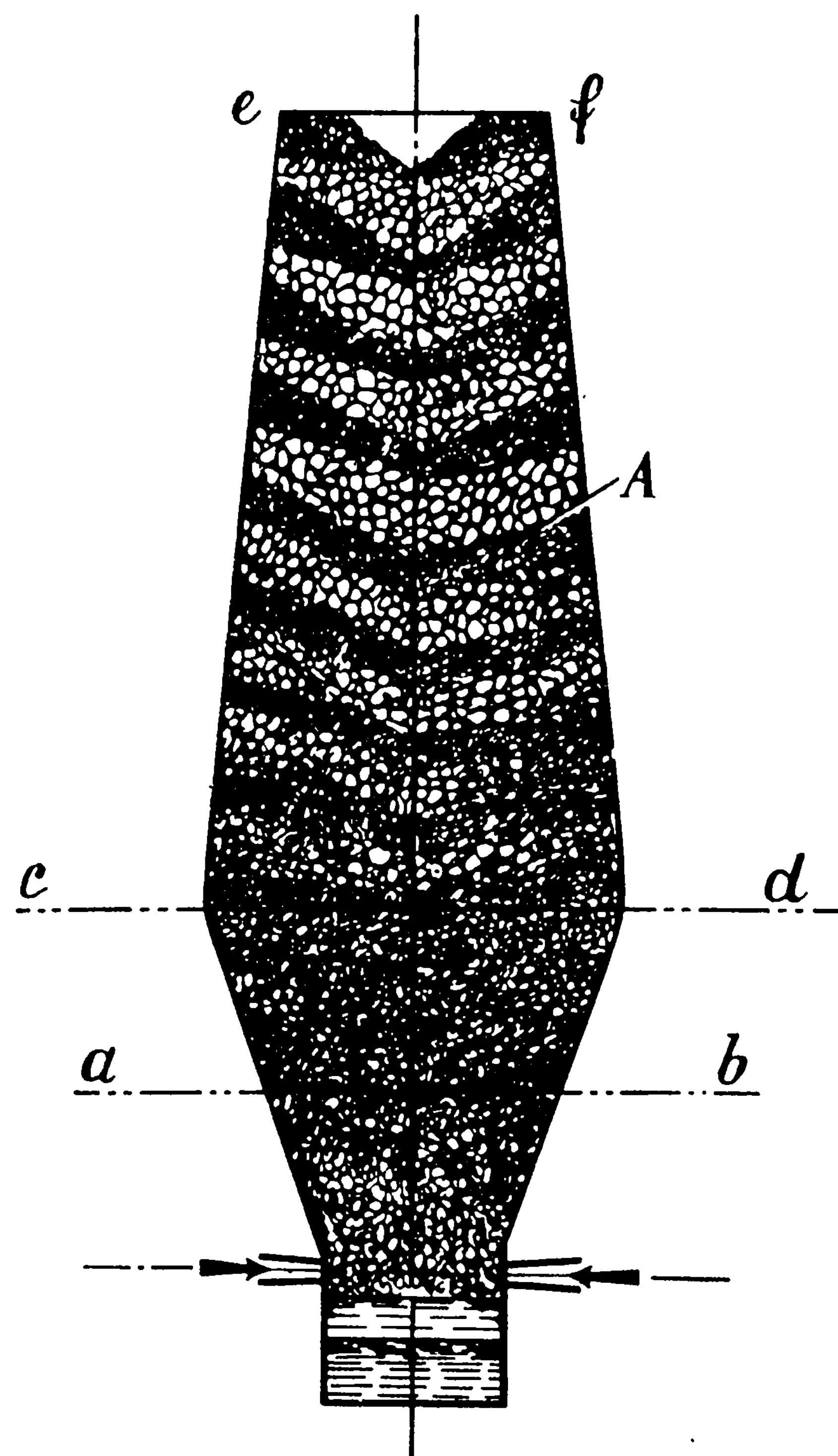
Таким образом, в настоящее время мы в современной доменной печи достигаем непрерывности производства и связанной с этим громадной экономии в топливе, руде и рабочей силе против прежних Stücköfen'ов ценою обратного передела чугуна в железо вышеуказанными способами свежевания. Если принять во внимание расходы, связанные с выполнением этой последней работы, то в результате окажется вовсе не такая большая экономия и совершенство, какие вытекают из непосредственного сравнения доменной печи с Stücköfen'ом. Во-первых, хотя одна доменная печь по своей производительности заменяет собою несколько штучных печей, однако обусловливает устройство нескольких аппаратов или печей для передела чугуна на железо; во-вторых, экономия в топливе отчасти уравновешивается расходом его при переделе; в-третьих, то же самое по отношению к рабочей силе; в-четвертых, почти то же самое по отношению к угару железа, с тою лишь разницей к выгоде Stücköfen'a, что при

прямом получении ценность угорающего железа выводится из его ценности в руде, тогда как угар при свежевании относится прямо к чугуну, в несколько раз превышающему ценность железа в руде.

Отсюда видно, что несравненно больших выгод могли бы мы достигнуть, если б вместе с установлением непрерывности действия печи не изменили бы самого продукта, получавшегося в Stücköfen'е, т. е. лишь расплавляли бы восстановленное железо без превращения его в чугун; тогда сами собой отпали бы все способы свежевания со всеми их расходами и потерями.

Рассмотрим, по возможности кратко, в самых общих чертах, ход доменного процесса по эскизу (фиг. 2), изображающему общий вид внутреннего профиля доменной печи. То что мы говорили о первобытных шахтных печах, во многом может быть применено и здесь; точно так же слои топлива и руды перемежаются один с другим и занимают шахту, расширяющуюся в средней части; внизу печи, в верхней части горна, вдувается воздух для сжигания топлива. Однако размер новых печей чрезвычайно почтенный, далеко превосходит старые печи, причем район очень высоких температур занимает весьма большой объем. Для того чтобы иметь достаточное помещение для скопления сколько-нибудь значительного количества чугуна и плавающих на нем шлаков, внизу печи оставляется объемистый нижний горн, откуда чугун выпускается периодически, по мере его накопления; шлаки же текут из специально делаемых для того отверстий несколько ниже горизонта фурм.

Пространство A над горном почти до линии ab наполнено только одним углем, потому что район очень высоких температур, превышающих точку плавления образующегося чугуна и шлаков, так значителен, что то и другое начинает плавиться далеко выше уровня фурм, примерно около горизонта ab. Здесь, в особенности при современных печах, когда вдуваемый воздух нагрет до сравнительно высокой температуры, полного горения углерода угля ожидать нельзя. Если бы даже около устья фурм и образовался на сравнительно ограниченном пространстве углекислый газ, то, проходя чрез громадное количество раскаленных углей, наполняющих всю эту область, он тотчас же превратился бы в углеродную окись.



Фиг. 2

Следовательно, можно сказать, что в районе горения углеродная окись является единственным продуктом горения угля. Но так как кислород воздуха, при помощи которого сжигается уголь, сопровождается соответственным количеством азота, то тут главным образом циркулируют два газа: азот и углеродная окись, которые восходящим потоком, со скоростью обыкновенно свыше одного метра в секунду [2], проходят чрез всю шахту и выходят чрез колошник *ef* из печи.

Проследим теперь, какие изменения претерпевает руда при своем спуске вниз по шахте, со скоростью обыкновенно около одного метра в час, навстречу раскаленному газовому потоку. Я для того указываю на скорости движения газа и руды, чтобы показать, что опускающиеся сверху материалы находятся как бы под ветром углеродной окиси и азота, что этот ток быстро отгоняет вверх могущие образоваться здесь газообразные или парообразные продукты возгонки, окисления или восстановления и что здесь нет застоя. При этих двух противоположных течениях чрезвычайно высокая температура углеродной окиси внизу постепенно падает по мере поднятия газа вверх, потому что он встречает постоянно более или менее холодные слои двигающихся сверху материалов и, пробираясь между кусками руды и угля, постепенно отдает им свою теплоту, так что к жерлу печи (колошнику) приходит при температуре около 300°, ниже или выше, в зависимости от условий хода печи. Уголь, которым пересыпана руда, не оказывает никакого действия на двигающуюся между его кусками углеродную окись [3]. Следовательно, уголь пока можно рассматривать как вещество инертное, не производящее изменений в верхних частях печи. Но окисел железа, встречая подымающуюся ему навстречу углеродную окись, вступает с нею во взаимодействие; углеродная окись восстановляет окисел железа, превращаясь в углекислый газ, как показывает следующая формула:



$$Fe_2O_3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2.$$

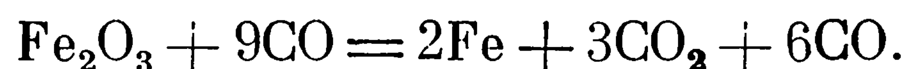
Эту формулу, однако, нужно рассматривать как результат целого цикла воздействий различных продуктов более низкой степени окисления железа с окисью углерода, так как эта реакция не совершается сразу так, как она изображена формулой.

Если бы даже и могла совершиться до конца реакция непосредственно между Fe_2O_3 и 3CO и получился бы такой результат, как написано в правой части равенства, то для этого были бы необходимы еще некоторые условия. Нам известно, что при высокой температуре углекислый газ действует окислительно на металлическое железо, превращает его в окись, а сам превращается в углеродную окись, так что может произойти и совершенно обратная реакция. Опыт показывает, что для совершения написан-

[2] Я прошу относиться к этим числам, как к круглым средним, для среднего размера печей.

[3] Для простоты я вовсе умалчиваю о той незначительной роли, какую играет азот в химических реакциях доменного процесса; пропускаю также и реакцию между углеродом и углекислым газом, образующимся при восстановлении железа углеродною окисью.

ной реакции необходимо присутствие большого избытка углеродной окиси, которая препятствовала бы совершению обратной реакции, разжижала бы образующийся при прямой реакции углекислый газ и мешала бы ему действовать обратно окислительно на железо. Оказывается, вполне достаточно для полного восстановления железа, если углекислый газ в конце реакции будет расжижен двойным по объему количеством углеродной окиси. Так как объем частицы углеродной окиси равен объему частицы углекислого газа, то это условие будет соблюдено, если вышеупомянутая реакция будет происходить в присутствии еще 6 частиц углеродной окиси, не участвующих в реакции, т. е. если возьмем:



$$Fe_2O_3 + 9CO = 2Fe + 3CO_2 + 6CO.$$

Но я уже сказал, что на самом деле углеродная окись не восстанавливает прямо железо из полутораокиси и что здесь происходит некоторая последовательность в понижении степени окисления железа. Так, если частицу полутораокиси будем писать Fe_6O_9, то под действием углеродной окиси возможен и в действительности, как кажется, и совершается следующий ряд реакций [4]:

1) $Fe_6O_9 + CO = Fe_6O_8 + CO_2$,
2) $Fe_6O_8 + CO = Fe_6O_7 + CO_2$,
3) $Fe_6O_7 + 7CO = 6Fe + 7CO_2$.

При этом, однако, надо предполагать выполняемым условие, чтобы образовавшийся углекислый газ был разжижен вдвое большим объемом углеродной окиси. Таким образом, последний из окислов, Fe_6O_7, входя в реакцию с углеродною окисью, дает прямо металлическое железо. Опыты проф. Wiborgh'а показали, что окончание реакции восстановления может совершиться лишь тогда, когда весь окисел перейдет в Fe_6O_7, и только с этого времени восстановление идет очень энергично. Замечательно также, что полуторная окись Fe_2O_3 восстановляется несравненно легче, нежели магнитная окись Fe_3O_4, взятая в виде руды, даже после предварительного обжигания; после двухчасового действия окиси углерода (1 час при температуре около 400° и 1 час при температуре около 800—880°) эта руда почти вся переходила в окисел состава Fe_6O_7, и лишь незначительная часть железа восстанавливалась вполне (за тремя-четырьмя исключениями, из 40 испытаний восстанавливалось от 0 до 6% содержащегося в руде железа), тогда как гематит из Бильбао при тех же обстоятельствах давал от 71 до слишком 94% металлического железа.

При восстановлении окиси железа углеродной окисью нельзя не обратить внимание на отложение твердого углерода, происходящее, по-видимому, наиболее энергично в пределах температур от 300 до 450°. Углеродная окись, проходящая чрез пористую, рыхлую руду, пронизывает ее по трещинам и порам насквозь и распадается на твердый углерод и углекис-

---

[4] См. *Wiborgh J.* Verfahren zur Bestimmung der Reduarbarkeit der Eisenerze.—Stahl u. Eisen, 1897, N 19, 20.

лый газ, причем этот последний проходит дальше, а твердый углерод осаждается в порах железного окисла. Это осаждение идет чрезвычайно интенсивно, так что в течение 2—3 час., при температуре около 400°, смотря по свойству руды и быстроте смены газа, может отложиться 5, 10, 20% и более углерода по отношению к весу взятой для опыта окиси, причем реакция эта не сопровождается восстановлением железа в металлическом виде. Если предположить, что в начале действия углеродной окиси на Fe_2O_3 образуется окисел вида Fe_6O_7, то распадение углеродной окиси с отложением углерода можно объяснить следующим образом. Закись-окись Fe_6O_7 можно рассматривать как состоящую из следующих двух окислов: Fe_3O_4+3FeO, т. е. из одной частицы магнитной окиси и 3 частиц закиси железа. Каждый из этих отдельных окислов в этих количествах, подвергаясь действию 1 частицы углеродной окиси, может переходить из одного в другой, а именно:



$$Fe_3O_4+CO=CO_2+3FeO \text{ и } 3FeO+CO=Fe_3O_4+C.$$

Если это справедливо, то действительно может отложиться большое количество углерода при небольшом количестве взятой окиси железа, и нет причины для остановки реакции, если приток углеродной окиси будет продолжаться, а образующийся углекислый газ будет удаляем по мере его образования.

Действие окиси углерода при *таких условиях* на окись железа так сильно, что если в стенках доменной печи, в порах или трещинах кирпичей, которые положены в верхних частях шахты, в поясе температур 300—400°, случайно попадается включенной окись железа, то углеродная окись доменных газов действует на это незначительное количество окиси железа в смысле вышеозначенной реакции и отлагает углерод до того сильно, что такие кирпичи распадаются от сильного напора углерода, причем соответственное место стенки печи разрушается [5].

Только что рассмотренная реакция важна в том отношении, что спускающаяся вниз руда, претерпев действие углеродной окиси в температурах около 400°, представляет из себя окисел, хотя и не содержащий еще металлического железа, но уже заключающий в порах значительное количество отложившегося углерода, который, как мы заметили раньше, при высоких температурах уже является восстановителем железного окисла, иначе сказать, руда, спускаясь вниз, несет с собою и будущего ее восстановителя в районах высоких температур. Однако для совершения такой реакции со значительным отложением углерода необходимо, чтобы кусок руды был порист, иначе отложение углерода может ограничиться только поверхностью, а внутри останется нетронутый окисел. Вот почему хорошая подготовка руды к восстановительному действию в доменной печи так важна в смысле разрыхления, в особенности для таких руд, как магнитная, чрезвычайно трудно восстановляемая даже после предварительного обжигания.

---

[5] См. статью Люрмана в Stahl und Eisen, 1898, N 4.

Вышеупомянутые исследования Виборга вместе с тем показывают, что при обжигании магнитного железняка нужно иметь в виду не одно только разрыхление, но и по возможности полный переход его в полутораокись (Fe_2O_3); в противном случае не только уменьшается количество отлагающегося углерода в пределах 300—450°, но и полное восстановление железа, вместо окончания при температурах 850—880°, может отодвинуться до 900—950°. Во всяком случае, эти последние температуры [6] можно считать крайним высшим пределом для окончательного восстановления железа из его окислов даже в тех случаях, когда эти последние подвергаются действию углеродной окиси прямо при означенных температурах, без предварительного отложения углерода при 300—450°.

Основываясь на вышеприведенных результатах тщательных исследований, мы можем утверждать, что близ распара доменной печи, близ горизонта *cd*, где температура достигает до 950—1000°, в нашей руде все железо будет уже восстановлено в металлическом виде. Но вот теперь и наступает самый трудный вопрос: как удержать полученное железо от превращения в чугун? Вопрос этот труден потому, что, спускаясь ниже линии *cd*, в те районы, где температура уже выше 1000°, где восстановительное действие углеродной окиси почти прекращается или, по крайней мере, весьма сильно ослабевает, а взамен того наступает сильно цементующее действие твердого углерода, восстановленная железная губка начинает быстро обуглероживаться; вскоре затем к обуглероживающемуся железу присоединяются кремний, марганец, фосфор и некоторые другие элементы. Все это совершается теперь так быстро, что при вступлении в область плавления, близ горизонта *ab*, наше железо в обыкновенной доменной печи уже превратилось в чугун, капли которого, проходя, в прикосновении с углем и расплавляющимися шлаками, в пространстве *A*, еще более насыщаются углеродом и другими вышеуказанными элементами.

Очевидно, что наша цель была бы достигнута, если бы мы могли, минуя весь переходный пояс между горизонтами *cd* и *ab*, полученное железо перебросить сразу в район высокой температуры, в область энергичного горения, в плавильный горн, оставив его, однако, под влиянием газов, охраняющих его от окисления. Для достижения этой цели попробуем сделать этот пояс совсем недеятельным, так, чтобы, проходя через него в плавильную зону, двигающийся материал не претерпевал никаких изменений.

Ввиду того что переход железа в чугун обусловливается преимущественно тесным соприкосновением его с твердым топливом при очень высоких температурах, необходимо удалить это обстоятельство; принимая же во внимание возможность полного восстановления железа лишь помощью одной углеродной окиси, можно или вовсе не примешивать угля к рудной засыпи, или же прибавить такое небольшое его количество,

[6] На основании неоднократно произведенных опытов и согласно с заключениями по этому вопросу Шинца, Туннера, Грюнера, Окермана, Купельвизера, Веддинга, Виборга и др.

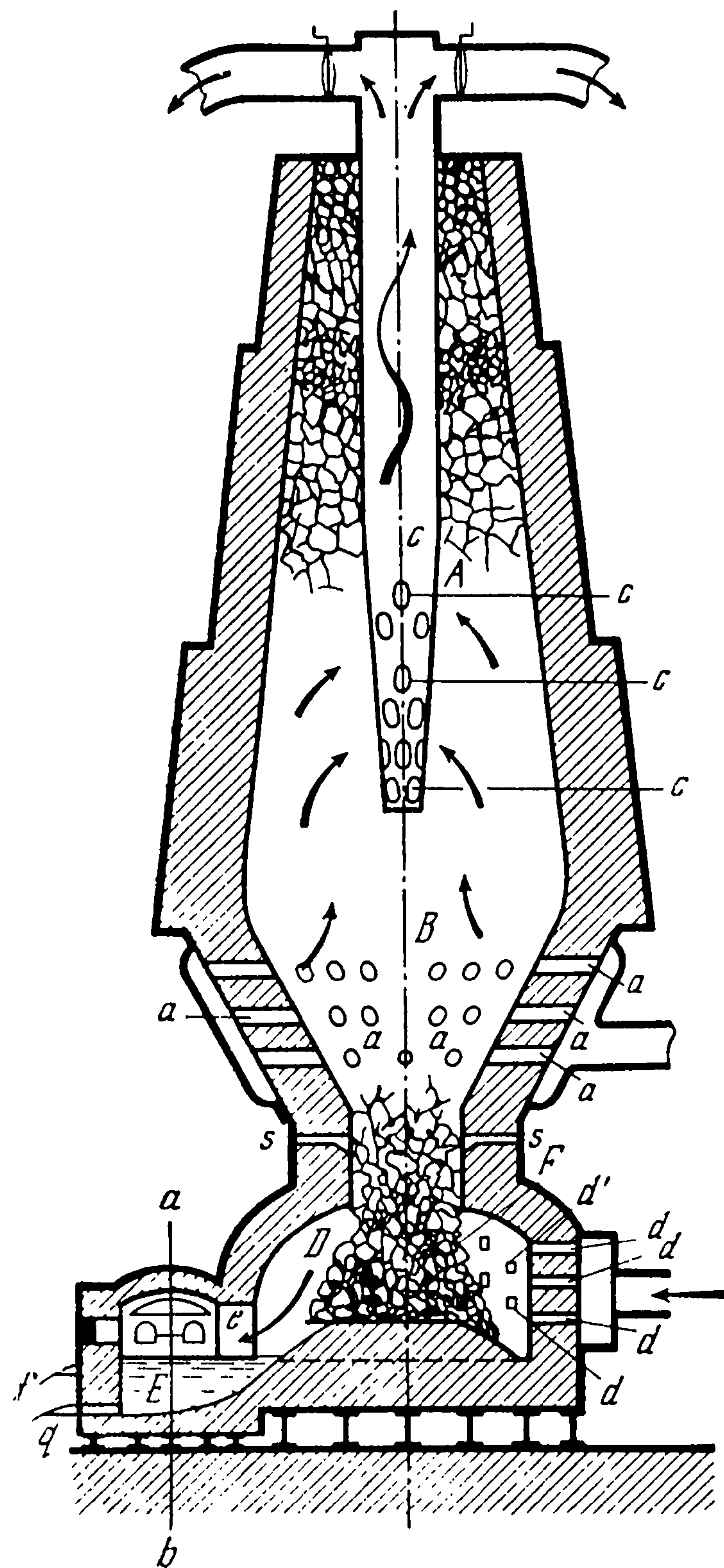
чтобы железо могло лишь несколько обуглеродиться, но не перейти в чугун. Тогда спускающийся в плавильное пространство рудный столб не принесет с собой угля или кокса, как при обыкновенном ходе доменной печи, а потому для плавления железа и шлаков потребуется сжигать топливо, особо приготовленное в плавильном горне. Для избежания прикосновения шихты с твердым углем вернее всего следует прибегнуть к жидкому или газообразному топливу. Но как продукты горения этого рода топлива (углекислый газ и водяные пары) не могут заменить углеродной окиси, которая в качестве продукта неполного горения угля или кокса, проходя по шахте печи, нагревала и восстановляла руду, то теперь продукты горения из плавильного горна нельзя пропустить чрез столб опускающейся рудной засыпи, а следовательно, для замены прежнего тока углеродной окиси из горна печи необходимо изготовлять ее особо и впускать в шахту печи в том же поясе и при такой же температуре, как это было прежде, т. е. приблизительно под горизонтом cd и при температуре 1000—1100°, соответствующей полному окончанию восстановления всего железа помощью углеродной окиси.

Таким образом, для достижения предполагаемой нами цели необходимо пропустить чрез печь *два отдельных тока газов*: один по шахте вверх, навстречу спускающейся руде, для восстановления железа, а другой в области горна, для расплавления восстановленного железа и шлаков, с отводом продуктов горения из горна в сторону, дабы они не попадали в шахту печи и не мешали восстановительному току.

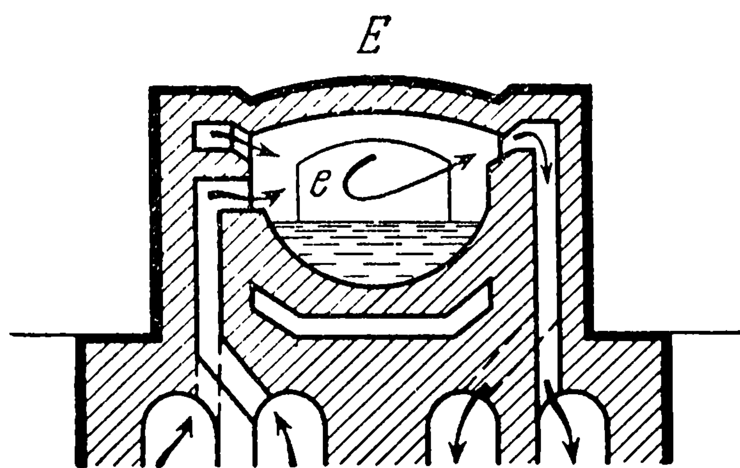
На основании всего вышеизложенного можно прийти и к практическому решению нашей задачи. Представим себе доменную печь такого устройства, как изображено на фиг. 3. Шахта A пополняется рудою и флюсом, с примесью небольшого количества древесного угля, или кокса, или необугленного топлива, или же без такой присеси. В пояс B, соответствующий поясу цементации обыкновенных доменных печей, чрез отверстия a, a, . . . вдувается раскаленный (приблизительно до 1000—1100°) генераторный газ, по возможности освобожденный от водяных паров и водянистых продуктов возгонки сырого топлива; газ этот, пробираясь между кусками руды, раскаляет ее, восстановляет железо и направляется в газоотводную трубу C чрез сделанные в ней отверстия c, c, . . . Такой способ отвода газов обусловливает пронизывание ими всей толщи рудного столба по всему поперечному его сечению; значительный спуск трубы служит главнейше к уменьшению сопротивления движению газов и, следовательно, к уменьшению их давления.

Опускающаяся в горн D восстановленная руда с флюсом расплавляется здесь на счет теплоты горения газов, вдуваемых через отверстия d, d, . . .; воздух для сжигания газов вдувается чрез отверстия d', d', . . ., расположенные между газовыми отверстиями рядами или в шахматном порядке. Для развития действия пламени на рудяной столб F горн D значительно расширен; пламя газов, охватив кругом рудяной столб F, втягивается чрез боковое окно e в передний закрытый горн E, который соединен с особою дымовою трубою. Горн этот, изображенный также в продольном разрезе по линии ab на фиг. 4, представляет из себя род газовой

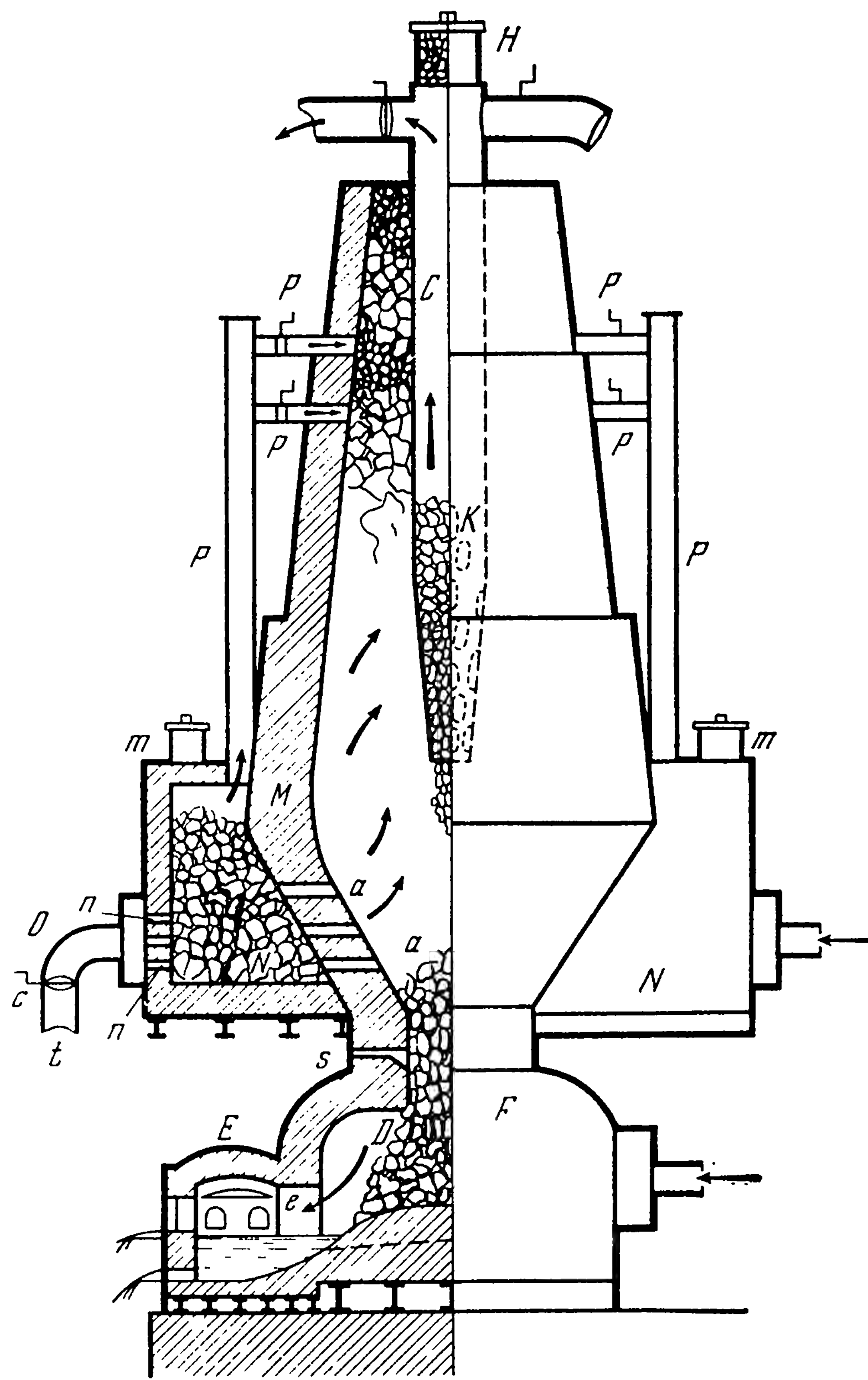
регенеративной печи, с тою особенностью, что чрез него проходит, кроме своего пламени, пламя центрального горна, входящее в окно e; это пламя, вместе с продуктами горения газов горна E, уходит в общую дымовую трубу. Передний горн E играет роль скопа для металла и шлаков; но для устранения охлаждения в нем металла он отапливается газами, проходящими чрез регенераторы. Таким образом, в центральном горне рудяной столб F, оплавляясь постоянно снаружи, утоняется и размягчается, а потому ссаживается под давлением спускающейся из шахты рудной массы, вследствие чего устанавливается непрерывный сход рудной засыпи. Оплавляющееся железо и шлаки постоянно стекают по круговому наклонному желобку и чрез окно e в горн E; здесь шлаки всплывают на поверхность металлической ванны и по мере поднятия



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

ее уровня удаляются из горна по желобу (фиг. 3); когда же уровень металла будет подходить к этому желобу, то, после перемешивания ванны и прибавления к ней зеркального чугуна или ферромарганца, ферросилиция и т. п., смотря по назначению металла (как в мартеновской печи), металл выпускается чрез пробиваемое очко q и разливается, как обыкновенно.

Регулирование восстановления железа и степени его обуглероживания в такой печи может быть достигнуто, с одной стороны, прибавлением в шихту некоторого количества углистых веществ, а с другой стороны, большей или меньшей интенсивностью топки в центральном нижнем горне по сравнению с температурой и количеством восстановляющих газов, вдуваемых в печь чрез отверстия a, a, . . . Поступая таким образом, мы можем достигнуть того, что печь будет давать по желанию чистое железо, более или менее углеродистую сталь или даже чугун.

Переходя к некоторым подробностям действия печи и ухода за ней, остановлюсь на способе снабжения ее газами. Восстановительный газ, приготовляемый в генераторах с дутьем, предварительно до введения в отверстия a, a, . . . должен быть нагрет приблизительно до 1000—1100°; это легко достигается без особого подогрева, если генераторы с дутьем будут расположены близ печи. Чтобы избежать при этом большой потери теплоты, можно пристроить генераторы к самым стенкам печи, против заплечиков, как показано на фиг. 5. Действие генераторов N отличается от действия обыкновенных тем, что выделяющаяся из свежезаброшенного топлива сырость и первые водянистые продукты сухой перегонки отводятся особо от собственно генераторного газа, который вследствие этого богаче углеродной окисью и гораздо суше и горячее обыкновенных генераторных газов. На фиг. 5 буквой O обозначена воздухопроводная труба с регулирующим клапаном t, доставляющая воздух в коробку, а оттуда чрез отверстия n, n, . . . в генератор N. Здесь воздух входит в толстый слой раскаленного и обуглившегося топлива; образующаяся углеродная окись с частью азота входит в печь чрез отверстия a, a, . . .; продукты же сухой перегонки и влага топлива, забрасываемого чрез воронку m, поднимаются с частью азота воздуха по трубе P, а потом по отросткам ее p, p в верхнюю часть печи, где проходят чрез свежезаброшенную шихту и, отдав ей свою теплоту, выходят из печи чрез колошник или отводятся особым газоулавливающим аппаратом; регулирование количества выпускаемых из генератора продуктов сухой перегонки достигается помощью клапанов в отростках p, p. Генераторы N могут быть установлены и в некотором расстоянии от стен печи, лишь бы в идущих от них газопроводах газ не охлаждался ниже 1000—1100°.

Ввиду того что восстановление железа из его окиси при посредстве углеродной окиси совершается без затраты теплоты извне, внесенная в печь раскаленными газами теплота будет затрачиваться лишь на нагревание руды и флюса, а потому газы, входящие в печь из генератора с температурой 1000—1100°, при входе в трубу C будут иметь температуру около 800°. Это обстоятельство дает возможность регенерировать газы в трубе C, если в последнюю поместить древесный уголь K, как показано

на фиг. 5; для засыпки этого угля служит воронка H, расположенная наверху трубы C; излишек засыпаемого угля будет выходить из нижнего отверстия трубы C вместе с золой и двигаться с рудным столбом в нижний горн. Регенерированный газ может служить для расплавления восстановленного железа и шлаков в центральном горне D и в переднем горне E [7]. Для этой последней цели с большим удобством может быть применена нефть, распыливаемая форсунками помощью нагретого воздуха чрез отверстия, подобные отверстиям d, d, d, . . ., изображенным на фиг. 3, или электричество.

Для большей иллюстрации возможности осуществления моей идеи я сделал необходимые расчеты для пробной печи около 43 $м^3$ вместимости и для суточного производства в ней около 1200 пудов литого металла; расчеты эти будут напечатаны вместе с сообщением или доложены 1-му Отделу особо [2*]. Я должен сказать, что при проектировании печи не встретил серьезных затруднений к выполнению проекта. Единственно, что мне казалось с первого же шага слабой стороной — это соединение шейки, оканчивающей шахту, с нижним горном. Но несколько дней поработав над этим вопросом, я пришел к чрезвычайно удовлетворительному его разрешению; мне удалось обособить свод центрального горна и сделать его независимым от груза печи при помощи зазора, замыкаемого песком. Что касается количества топлива, необходимого для выполнения всего процесса, то он оказывается почти таким же, как и в доменной печи для получения чугуна, — разве лишь немногим больше, потому что здесь нужна высшая температура, а следовательно, и большее количество теплоты должно теряться. Рабочей силы также выйдет больше, чем при обыкновенной доменной печи, но меньше, нежели около мартеновской печи. Сила воздуходувных машин здесь значительно меньше, нежели для обыкновенных домен, так как давление дутья здесь несравненно ниже.

Вообще говоря, при некоторых местных условиях стоимость полученного литого металла будет равна стоимости чугуна.

---

[7] В видах упрощения и удешевления производства валовой выплавки стали я впоследствии удалил совсем передний горн E, предоставив металлу свободное и непрерывное вытекание из печи прямо на пол, причем получается железный или стальной скрап как сырой материал для сталеплавильных печей. При установке такого упрощенного производства у самого рудника является возможность вместо руды отправлять прямо в сталелитейные заводы уже восстановленный металл, наиболее дешевый, со значительным сокращением расходов на перевозку.

Вследствие обычной косности наших частных заводов я обратился в Министерство торговли и промышленности в надежде получить возможность осуществить предлагаемый способ в упрощенном виде на одном из казенных горных заводов. Однако, несмотря на двукратно выраженное тогдашним Министром (В. И. Тимирязевым) желание помочь производству такого опыта, вопрос этот встретил неодолимые препятствия среди шкафов и коридоров Министерства. — *Прим. Д. К. Чернова, 1914 г.*

14

О КРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА И КАРБОРУНДА В СТАЛИ [1*]

(Сообщение в и‹мп›. Р‹усском› т‹ехническом› о‹бщест›ве 15 марта 1907 г.)

Ровно 40 лет назад, в 1867 г., я получил от Гартнака, известного оптика в Париже, хороший микроскоп и принялся исследовать на Обуховском заводе изломы литых стальных болванок. Между прочими наблюдениями я остановился с большим интересом на встреченных мною местных, или частных, усадках в болванках очень твердой стали и на тех выделениях, которыми были усеяны бока усадочных раковин. Нужно сказать, что вообще в нетронутых воздухом внутренних усадочных пустотах литой стали выступающие из стенок ростки кристаллитов или дендритов обыкновенно имеют чрезвычайно гладкую и чистую зеркальную поверхность. Я наблюдал сначала их форму и срисовывал ростки под микроскопом.

Рассматривая со всех сторон, во всех углах эти чрезвычайно своеобразные и причудливые фигуры, я нашел на их поверхности несколько прозрачных кристалликов в виде шестиугольных пластинок очень малого размера, но вполне правильного очертания и при этом чрезвычайно тонких. Когда я с большим трудом под микроскопом подводил к ним очень тонкую иглу, чтобы немножко стронуть их с места, то оказалось, что эти пластинки были как бы прилеплены к поверхности ростков; они не уступали действию иглы, оставались на ростках, и нужно было употреблять некоторое усилие, чтобы отрывать их от места. Сами они были чрезвычайно тверды, так что закаленная игла не давала на них никаких царапин. Затем, при дальнейших наблюдениях, я находил довольно значительные скопления в виде групп сростков этих шестиугольных пластинок, причем в некоторых местах они налегли одна на другую, представляя как будто в беспорядке раздвинутую колоду карт; тогда они были очень плотно между собой срощены, и такая группа представляла нечто более существенное и прочное, на что можно было сильнее надавить иглой, чтобы попробовать отделить пластинки от места, на котором они сидели.

Таким образом, при помощи иглы мне удалось сделать несколько отлуплений этого прозрачного вещества, которые я попробовал перенести на стеклышки, чтобы приготовить микроскопические препараты. Ввиду того что работать приходилось при боковом освещении (тогда микроскопы еще не имели внутреннего освещения), причем объектив при значительном увеличении очень близко подходил к стеклышку, работа была чрезвычайно утомительной.

Для того чтобы перенести такую кристаллическую группу из-под микроскопа на стеклышко, требовался иногда целый день. Иногда вся работа пропадала, потому что при таких малых размерах пластинок (поперечник шестиугольника представлял в крайнем случае около 0,03 *мм*) их нельзя было чем-либо *захватить*, тут нужно было пользоваться только естественным притяжением тел. Только с помощью этого прилипания

к игле я достал сначала один кристаллик. Отколупнутый с места, он слегка пристал к игле. Воспользовавшись этим, я стал переносить его на стеклышко, но сейчас же потерял его, потому что достаточно было моего дыхания, чтобы, вынутый на игле, из-под микроскопа, он опять туда же свалился.

Тем не менее после нескольких неудач, работая с притаенным дыханием, я приготовил один микроскопический препарат, в котором был изолирован кристалл, представлявший вполне правильный шестиугольник с очень ровными краями и острыми углами; под другое стеклышко была положена целая группа сросшихся кристалликов.

Тогда еще не было приспособления фотографических камер к микроскопу, и мне надо было зарисовать от руки, пользуясь аппаратом Обергейзера. Эти рисунки (увеличение в 550 раз) изображены на фиг. 1 и 2 табл. I < см. стр. 46 >. На фиг. 2 обозначена действительная длина всей группы 0,22 *мм*, т. е. менее $^1/_4$ *мм*. У первого отдельно изолированного шестиугольника диаметр немного менее 0,03 *мм*.

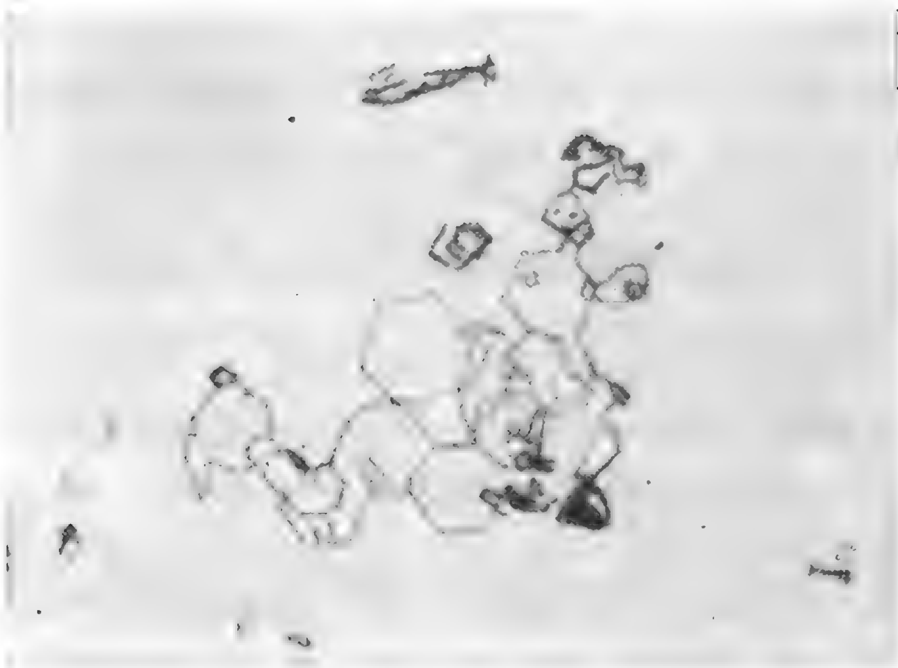
На фиг. 3 (табл. 1, увеличение 165) зарисовано точно так же прозрачное вещество, вероятно, того же состава, как и в шестиугольниках, но отложившееся не в кристаллическом виде, а очень похожее под микроскопом на вид пота на стекле. Исследуя иглой это вещество, я нашел, что оно не могло быть даже отделено от ростка, потому что очень плотно к нему пристало. Но вместе с тем я не мог не обратить внимания на крайнюю твердость этого вещества. Оно было совершенно прозрачное, бесцветное, но никакой царапины от прочерчивания иглой не получало.

Для того чтобы испытать твердость шестиугольных пластинок, я попробовал потереть их между стеклами. При первом же движении я почувствовал, что они чрезвычайно сильно царапают стекло, как бы впиваются в него. Меня не мог не заинтересовать вопрос, что это за вещество? Разумеется, ввиду того что в данном случае сталь была очень твердая, мне на первый раз казалось возможным поставить вопрос — не алмаз ли это?

То что вещество это закристаллизировалось в шестиугольных пластинках, не могло служить доказательством, что это не алмаз. Хотя алмаз в природе почти всегда имеет форму октаэдра, чаще всего так или иначе комбинированного заострением и т. п., но во всяком случае октаэдра; очень редко появляется в форме куба; тем не менее шестиугольная пластинка при известных условиях получается из октаэдра, например, при разрастании двух противоположных плоскостей октаэдра получается правильный шестиугольник, т. е. если сделать сечение октаэдра чрез его центр, параллельно двум противоположным граням, то получается правильный шестиугольник. Такие случаи кристаллизации нередки. Например, при кристаллизации квасцов, особенно хромовых и марганцевых, часто две противоположные плоскости октаэдра чрезвычайно сильно разрастаются и получаются довольно правильные шестиугольные пластинки.

Для того чтобы больше увериться в том, что мой кристалл может принадлежать к правильной системе, я попробовал анализировать его в поляризационном аппарате. Кристалл правильной системы не поляризует света, а гексагональной — поляризует. Так что если бы этот кристалл не

принадлежал к правильной системе, то он должен был поляризовать или отклонять плоскость поляризации. Однако поляризационный аппарат не показал никаких следов поляризации. Это меня укрепляло в предположении, что, очень может быть, это и алмаз.



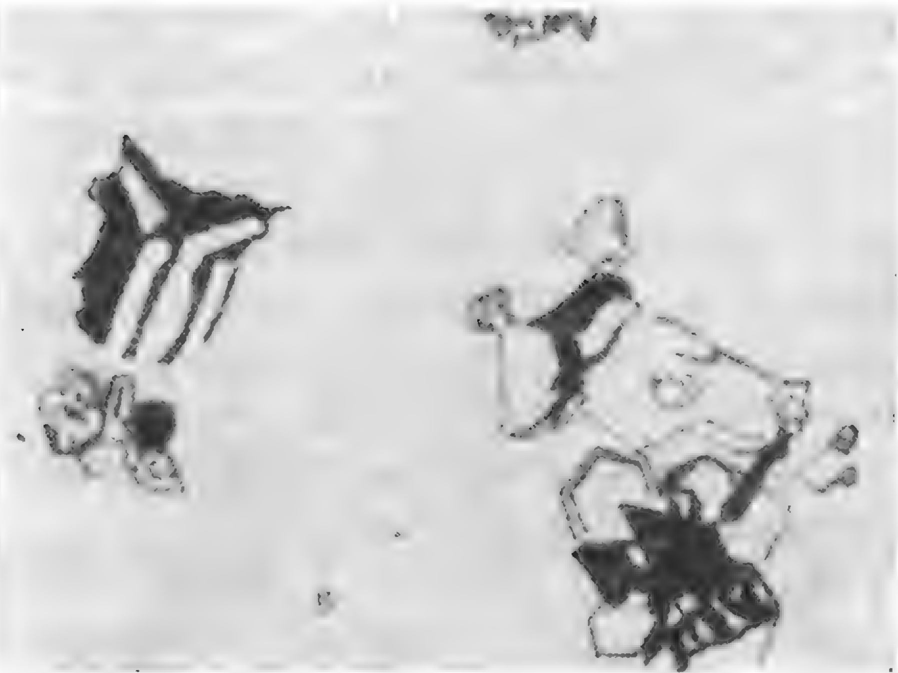
Фиг. 4

К указанным свойствам можно еще добавить чрезвычайно сильную способность этого вещества к преломлению и рассеянию света. Когда при косвенном освещении я поворачивал под микроскопом ростки, усеянные кристаллическими пластинками, то последние играли разными цветами радуги, в особенности при солнечном освещении. Так что был чрезвычайно большой соблазн, чтобы назвать это вещество алмазом. Но решающим фактором в этом вопросе является все-таки химический анализ, для чего необходимо иметь достаточное количество анализируемого вещества. Однако с этой стороны я встретил почти неодолимое препятствие: вещества этого было так мало и так трудно было его собирать, что я отказался от мысли заняться его анализом, тем более что для такой работы я не располагал достаточно свободным временем.



Фиг. 5

Печатая сообщение об открытии описываемых шестиугольных пластинок (см. «Engineer», june—july 1876, «Engineering», june and july 1876, «Mémorial de l'Artillerie de la Marine», t. XXXIII) в виде приложения к переводу моего доклада ИРТО о структуре стали (см. выше, стр. 45), я сделал заявление, что так как я сам не могу отдаться работе по точному исследованию состава и природы этого вещества, то я готов всякому, кто пожелает заняться этим, дать все, что я набрал из этой стали, дать даже той стали, в которой можно найти это вещество. Но никто не отозвался на мое предложение, и этот вопрос лежал под спудом до 1900 г., когда я,



Фиг. 6

отправившись на выставку в Париж, взял с собой описанные выше микроскопические препараты и подарил их Осмонду. Он чрезвычайно заинтересовался этим вопросом, причем я передал ему осколок стали от того куска, в котором я нашел это вещество.

Дальше я могу сообщить только то, что сделал Осмонд. Это представит некоторый интерес, так как это была единственная лабораторная работа, произведенная над исследованием природы этого вещества.

Я ему посоветовал для собирания шестиугольников произвести растворение стали в цедилке, пуская капля за каплей кислоту с тем, чтобы весь остаток остался в цедилке. Пользуясь этим приемом, он их собрал, как мне писал, довольно значительное количество. Но вместе с тем он в остатке получил, кроме этих шестиугольных пластинок, еще какое-то черное вещество в виде дендритов, иногда довольно хорошо образованных, иногда в виде какой-то угловатой пластинчатой массы. Он прислал мне фотографические снимки с этого остатка (см. фиг. 4, 5 и 6; увеличение 300).

Предполагая сначала, что это графит, Осмонд попробовал его отделить от шестиугольников, обработав этот остаток дымящей азотной кислотой и бертолетовой солью для того, чтобы графит перевести в графитовую кислоту. Чрез несколько времени он пишет, что все надежды его рушились, что после долгой работы над очищением шестиугольников от графита ему это не удалось. Но эти же работы показали, что это не графит, потому что черное вещество осталось нечувствительным к действию азотной кислотой с бертолетовой солью. Впрочем, чтобы не исказить перед вами того, что сделал Осмонд, я буду говорить его словами, извлекая из его переписки со мною те места, в которых он пишет о своих работах по этому предмету.

Выдержки из писем Осмонда относительно найденных мною в стали микроскопических шестиугольных кристаллических пластинок

(*Из письма от 8 июля 1900 г.*)

Я растворил один кусочек, весом 0,180 грамма, Вашей стали с алмазами в азотной кислоте и выделил до 20 шестиугольных пластинок, с ними один параллелограмм (что очень интересно) и дендриты черного, непрозрачного вещества. Наконец, кроме небольшого количества водного кремнезема, азотная кислота высвободила желтый осадок, растворимый в аммиаке и представляющий не что иное, как вольфрамовую кислоту. Было ли Вам известно, что эта сталь содержит вольфрам? Я удостоверился в том, что шестиугольники не действуют на поляризованный свет. Казалось бы, это не карборундум, как можно было предполагать. Чтобы увериться, что это алмаз, я намереваюсь положить несколько шестиугольников (если только не растеряю их при переноске) на полированную железную пластинку и прокалить в атмосфере водорода при 1000°. Алмаз должен дать перлитовое пятно.

25 июля 1900 г.

Мне почти что удалось изолировать Ваши маленькие шестиугольники; прилагаю несколько фотографических снимков; они не зафиксированы; натурально, что их возобновлю Вам. Я думаю, что Вы получите их ранее отъезда из Парижа и найдете достаточно удачными. К сожалению, мне попалась коробка с дурными пластинками, вследствие чего Вы найдете несколько неясных и туманных изображений, присутствие которых я иначе и не объясняю. Черные дендриты, вероятно, — графит.

31 августа 1900 г.

Я надеюсь извлечь из Вашей стали достаточное количество шестиугольников, чтобы точнее определить их состав. Пока прилагаю фотографии, которые Вам уже знакомы, и снимок кубиков железа, согласно Вашей просьбе; на этот раз все фотографии зафиксированы.

18 сентября 1900 г.

Различные обстоятельства мешают мне продолжать изучение Ваших образцов так регулярно, как я того желал бы; но я к ним всегда возвращаюсь и, рассчитывая на Ваше терпение, все-таки дойду до конца.

20 октября 1900 г.

Я встречаю затруднения. Большой кусок Вашей твердой стали содержит гораздо больше графита, нежели мелкие, с которыми я работал сначала. После растворения 20 граммов я не нашел в остатке ни одного свободного шестиугольника. Одну часть остатка я сжигал при возможно низкой температуре; другие части я сплавлял с содой, а также с калиевой селитрой. После таких обработок нашлось небольшое число шестиугольников, притом с округленными углами. Кажется, что шестиугольники должны бы быть алмазы, которые, конечно, должны были пострадать при обработке, приспособленной к сжиганию графита, так что лишь наиболее крупные шестиугольники могли отчасти сохраниться.

Однако эти опыты не доказательны. Авторы работ с карборундом утверждают, что он представляет единственное, кроме алмаза, вещество, с которым в данном случае мы можем иметь дело, и что он не поддается действию употребленных мною реактивов. Если они оперировали с кристаллами (кусочками), несколько более крупными, то возможно, что карборунд хотя слабо, но был в действительности тронут реакцией, однако она могла быть затем остановлена защитою тонкого слоя образовавшегося кремнезема. Надо будет отделить графит от шестиугольников дымящей азотной кислотой и бертолетовой солью, причем он перейдет в графитовую кислоту. Но такая работа требует большого количества реактивов по отношению к массе шестиугольников, и очень возможно, что эти реактивы и продолжительные операции приведут, с одной стороны, к введению некоторых посторонних примесей из реактивов, а с другой стороны — к потере шестиугольников. Все это чрезвычайно затруднительно. Однако я припоминаю, что Сорби наблюдал на срезах серого чугуна маленькие ше-

стиугольники синего и розового цвета, которые, вероятно, то же, что и Ваши. Я, после Сорби, наблюдал то же самое на сером чугуне, большой образец которого у меня сохраняется. Я растворял этот чугун, и после сжигания графита или сплавления с селитрой нерастворимого остатка я нашел еще несколько шестиугольников, впрочем поврежденных. Я сделаю, однако, с этим чугуном предварительный опыт отделения графита помощью дымящей азотной кислоты и бертолетовой соли.

Может быть, эти шестиугольники гораздо чаще встречаются, нежели можно было предполагать.

13 января 1902 г.

Я опять принялся за изучение Ваших маленьких шестиугольников, растворив большой кусок присланной мне Вами стали в азотной кислоте. После последовательной обработки остатка соляной кислотой, аммиаком, серной кислотой и едким натром в остатке получилась смесь шестиугольников и тех черных дендритов, о которых я писал прежде и в которых я предполагал графит. Вследствие этого я подвергал эту смесь положительному действию дымящей азотной кислоты и бертолетовой соли, чтобы превратить предполагаемый графит в графитовую кислоту и получить чистые шестиугольники. Против моего желания, мне это не удалось. Таким образом, черные дендриты — не графит. Так как Ваша сталь содержит вольфрам, я теперь полагаю, что мы имеем дело с карбидом вольфрама или с двойным карбидом вольфрама и железа, и я не вижу средств для получения шестиугольников в чистом виде. Я изготовил несколько микроскопических препаратов из этой смеси и два из них посылаю Вам с этой же почтой в виде новогоднего подарка. Несмотря на значительное количество черных дендритов, легко найти несколько шестиугольников, хорошо различимых.

Оставалось все-таки узнать точную химическую природу шестиугольников. Я советовался с Муассаном, который особенно компетентен в вопросе о состояниях углерода. Он нисколько не сомневается, что, судя по группировке, по форме и по другим видимым признакам, мы имеем дело с карборундом. Особенно решительным в этом случае явилось то обстоятельство, что он нашел один кристалл синий и несколько синеватых. Тем более еще, что шестиугольники плавают на иодистом этилене, что было бы равно убедительным, как отличительный признак для алмаза, если б нельзя было опасаться здесь действия капиллярности ввиду особой тонкости и мелкости кристаллов.

Таким образом, вопрос кажется исчерпанным. Но ведь эти же шестиугольники нашел и Франк в металлургических продуктах и описал их как алмазы. Если некоторые из реакций мне казались неподходящими (неприложимыми) для карборунда, так, вероятно, слишком малая величина (La petitesse) кристаллов, которые могут сгорать в кислороде, тогда как более крупные кристаллы карборунда защищаются от сгорания образующимся в самом начале слоем кремнезема. Из всего этого тем не менее остается, что Вы были первый, открывший вещество, существование которого до того времени не подозревалось.

21 февраля 1902 г.

Допуская, что эти шестиугольники — карборунд, Вы имели бы все права *заявить об открытии* (Revendiquer la découverte) Вами этого вещества в окристаллизованном виде в сидерургических продуктах. Муассан говорит, что эти шестиугольники в точности те же, которые Franck (из Берна) считает за открытые им и которые он, менее осторожный, нежели Вы, определенно и без оговорок описывает как алмазы, с некоторым шумом об этом открытии, сделанном так давно Вами.

Нужно сказать, что карборунд тоже является в сростках шестиугольных пластинок, нарастание которых очень похоже на нарастание описываемых мною групп шестиугольных пластинок. Кристаллический карборунд получается с разной густотой окраски. Несколько почти бесцветных образцов его были приобретены мною здесь через Гольцгауера, который состоит агентом американской алюминиевой фабрики Коульс. Это были мелкие кристаллы величиною в поперечнике миллиметра два, редко три, с легким синевато-зеленоватым оттенком. Некоторые кристаллы оказываются почти совсем белые, и между ними иногда случайно появляются кристаллы цвета бутылочного стекла. Но в настоящее время кристаллы стали попадаться в более крупных экземплярах, шестиугольники имеют в поперечнике около 1 *см*, а толщину — свыше 1 *мм*, даже до 2 *мм*, причем они почти совсем непрозрачные; только в очень тонких углах пластинок, и то под лупою, на сильный свет можно видеть, что они просвечивают темно-синим цветом с некоторым фиолетовым оттенком. Так что, вероятно, карборунд является с различным содержанием углерода и кремния и не всегда соответствует формуле CSi кремнистого углерода. Чему именно приписать сгущение окраски теперешнего карборунда, который является почти совершенно темно-синим, как снаружи, так и в самых тонких острых углах просвечивает тоже чрезвычайно густым темно-синим оттенком, — изменению ли только процентного содержания в нем углерода или присутствию других каких-нибудь веществ, восстановляющихся из сырых материалов вместе с кремнием, — вопрос этот трудно разрешить, так как карборунд противостоит действию самых сильных реактивов и весьма постоянен при самых высоких температурах наших печей.

Теперь, в добавление к изложенному выше, я скажу несколько слов относительно искусственного получения алмаза. Муассан получал алмаз, подвергая сильному давлению углеродистый металл, полученный в электрической печи, и вместе с тем ускоряя охлаждение (тигель погружался в воду) для того, чтобы алмаз не перешел в графит. И несмотря на эти предосторожности, все-таки его алмазный порошок представлял смесь трех видов углерода: тут был и графит, и аморфный уголь, и порошок алмаза. Так что собственно у него величина этих кусочков, как он говорит, не превосходила даже $^1/_2$ *мм*, и они совсем не имели вида, свойственного обыкновенно алмазу; эти кусочки представляли собой микроскопические

черные, серые и отчасти прозрачные кристаллы. Затем все попытки других, кто повторял эти опыты, всегда стремились к тому, чтобы непременно после предполагаемого получения алмаза при высокой температуре сейчас же подвергнуть его быстрому охлаждению для того, чтобы он не перешел в графит. Поэтому я думаю, да и все другие признаки показали совершенно согласно, что открытые мною шестиугольники никоим образом не могут быть признаны алмазом, потому что алмаз никогда не выдерживает медленного охлаждения, и не только медленного, но даже при чрезвычайно быстром охлаждении все-таки успевает почти нацело превратиться в графит.

Одна из последних попыток получить искусственный алмаз принадлежит доктору А. Людвигу. Это было опубликовано в немецком журнале «Zeitschrift f. Elektrochemie», Mai, 1902. Он произвел опыты чрезвычайно интересные. В замкнутый сосуд, наполненный водородом, под давлением в 1500 *атм*, он ввел два угольных электрода (или тонкий угольный стержень) и пропускал довольно сильный ток, соответствующий около 14—18 *а* на кв. *мм* поперечного сечения углей. Людвиг заметил, что в начале опыта ток шел хорошо и температура, конечно, сильно возрастала на концах углей. После нескольких секунд действия ток начинал ослабевать довольно быстро и, наконец, совсем прекращался. Потом опять чрез некоторое время, когда угли несколько остынут, ток снова идет очень хорошо, а затем, после сильного разогревания углей, опять приостанавливается и т. д. По окончании опыта оказалось, что концы углей превратились в графит. Из этого Людвиг заключил, что, вероятно, вследствие сильного нагревания электродов под таким давлением (1500 *атм*) угли переходят в нагретых концах в алмаз, который, как известно, непроводник, и ток прекращается. При этом необходимо допустить, что уголь, если не вполне расплавляется, то, по крайней мере, *спекается*. Такое спекание, как показали опыты Людвига, наступает при тем более умеренной температуре, чем выше давление окружающей среды (у Людвига в о д о р о д). Он полагает, что при 1500 *атм* это явление наступает уже при обыкновенном красном калении, хотя, к сожалению, он не измерял температуры углей во время пропускания тока. Нелишне прибавить, что после опыта под давлением в 3000 *атм* получался такой же графит, как и при 1500 *атм*.

Как только полученный алмаз в продолжение некоторого времени затем охлаждается, он быстро превращается в графит, уголь становится проводником, и ток опять восстановляется.

При следующих опытах Людвиг прибегнул к чрезвычайно быстрому охлаждению нагревшегося угля, когда он сделается непроводником.

Так как испробованное опытом охлаждение самого водорода быстрым выпуском его из резервуара не производило быстрого охлаждения углей, причем получался всегда графит, то Людвиг применил водяную струю. Это достигалось следующим образом: в вышеупомянутый сосуд с давлением 1500 *атм* вводилась трубочка от резервуара с холодною водою, находящеюся под давлением около 3000 *атм*; как только ток сам собою прекращался от накаливания угля, на последний направлялась холодная водяная струя, чтобы быстро охладить концы углей (или угольный стер-

женек) и таким образом захватить их в состоянии непроводника, т. е. в состоянии предполагаемого алмаза. В этих случаях на концах углей действительно находили маленькие кусочки алмаза в смеси с графитом. Это показывает, что если в самом деле можно получить алмаз путем расплавления угля, то какая чрезвычайная быстрота нужна для его охлаждения, чтобы он остался алмазом и не перешел в графит! Во всяком случае, однако, алмаз получается в сильно раздробленном состоянии, почти в порошке, частью черного цвета, вообще грязным и далеким от того драгоценного камня, который находим в природе.

Американцы, цитируя опыты доктора Людвига, указывают на возможность произвести опыты под давлением около 7500 *атм* для того, чтобы решить это вопрос при более низких температурах и, следовательно, более радикально. Не знаю, насколько они двинули этот вопрос и подтвердится ли предположение доктора Людвига. В настоящее время при получении искусственного алмаза все старание направлено к тому, что нельзя ли в электрической печи расплавить углерод и получить алмаз. Мне кажется, этот путь неверен и что многие факторы, полученные при исследовании месторождений алмазов, прямо с очевидностью доказывают, что алмаз, находимый в природе, не огненного происхождения и представляет скорее продукт медленной и сравнительно холодной реакции в горных породах, может быть, даже при участии водных соединений [2*].

III. «СТАЛЕЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО»[1*]

(1898 г.)

(Лекции, читанные на дополнительном курсе Михайловской артиллерийской академии)

15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАЛИ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ЕЕ

Железо обладает свойством вступать в соединение с углеродом во всех пропорциях, начиная с самых незначительных количеств до приблизительно 5 частей углерода на 100 частей соединения [1].

По мере увеличения количества углерода, входящего в соединение с железом в указанных пределах, свойства последнего все более и более изменяются: сероватый цвет железа постепенно белеет и, наконец, переходит в белый серебристый, плотность (удельный вес) уменьшается: от 7,9 понижается до 7,5, температура плавления с 1500° понижается до 1150°, тягучесть и вязкость железа постепенно исчезают, оно становится твердым и хрупким, вместе с тем железо совершенно теряет способность коваться как при низкой, так и при высокой температуре, твердость железа, определяемая по минералогической шкале в 4,5, т. е. между апатитом и плавиковым шпатом, возрастает до 8, т. е. до твердости топаза.

Все упомянутые свойства изменяются непрерывно, без заметных скачков или уклонений в какую-либо сторону; два других свойства, весьма важных для целей употребления продуктов железного производства, представляют, однако, некоторые особенности, и потому мы остановимся на них несколько подробнее.

1. При возрастании количества соединенного с железом углерода приблизительно до $^1/_3$% замечается появление нового свойства железа — принимать значительно большую твердость после нагревания до красного каления и быстрого затем охлаждения — способности закаливаться. При дальнейшем возрастании количества углерода способность закаливаться проявляется все в большей и большей мере, пока, наконец, при содержании углерода около $2^1/_4$% она достигает наибольшей степени, а именно, когда металл находится постоянно в закаленном состоянии, причем исчезают и всякие следы ковкости его как при обыкновенной, так и при высоких температурах.

2. По мере увеличения содержания углерода механические качества железа сначала возрастают: предел упругости и сопротивление разрыву возрастают без заметного уменьшения удлинений при разрыве, при дальнейшем возрастании обеих первых величин удлинение хотя и уменьшается, но в меньшей степени, нежели возрастают предел упругости и сопротив-

---

[1] К численным данным при общем определении свойств следует относиться, как к приблизительным средним величинам, выраженным в круглых числах.

ление разрыву (временное или абсолютное сопротивление), так что живое сопротивление металла значительно увеличивается. Если для приготовляемого промышленным путем хорошего мягкого железа можно принять предел упругости 1200 *ат* и сопротивление разрыву 3000 *ат* при удлинении в 25% [2], то для хороших качеств металла с содержанием углерода около $^1/_2$% предел упругости составляет около 3000 *ат*, сопротивление разрыву около 6000 *ат* и удлинение около 18%; при содержании углерода около 1% соответствующие величины составляют приблизительно 5000 *ат*, 10 000 *ат* и 8%.

После некоторого возрастания первых двух величин и незначительного уменьшения третьей до содержания углерода около $1^1/_2$% удлинение при разрыве начинает быстро уменьшаться и доходит почти до нуля при содержании углерода около $2^1/_4$%; вместе с тем падают довольно быстро и обе первые величины, соответствующие растяжению, при этом, однако, предел упругости и абсолютное сопротивление растяжению и сжатию, бывшие до тех пор почти совершенно одинаковыми, начинают все более и более различаться между собой вследствие более медленного понижения этих величин для сжатия, нежели для растяжения. В крайнем состоянии металл обладает уже приблизительно следующими величинами: предел упругости при растяжении — 700 *ат*, то же при сжатии — 1600 *ат*, абсолютное сопротивление при растяжении — 1400 *ат*, то же при сжатии — 9000 *ат* [3] при весьма незначительных, трудно измеримых удлинениях и сжатиях.

В отличие от обыкновенного железа металл с большим содержанием углерода, теряющий способность коваться при высокой и низкой температурах и получающий большую твердость (закалку) при самой отливке, называется чугуном, промежуточный же металл между железом и чугуном, содержащий приблизительно от $^1/_3$ до 2 с небольшим процентов углерода, обладающий ковкостью и тягучестью как при обыкновенной, так и при высоких температурах и способностью получать значительно большую твердость после нагревания до красного каления и быстрого затем охлаждения, т. е. способностью закаливаться, — называется сталью.

Описанные изменения свойств железа от увеличения в нем содержания углерода относятся к весьма редко достижимым на практике чистым соединениям вышеназванных элементов. На самом же деле вследствие условий, сопровождающих добывание железа из руд и дальнейшую его обработку, в соединение с железом входят и многие другие элементы, между которыми чаще всего встречаются кремний, марганец, сера и фосфор.

Содержание некоторых из этих элементов в значительной мере изменяет описанный выше характер постепенных переходов от железа к стали и от стали к чугуну; свойства последнего также сильно изменяются.

---

[2] Удлинение при разрыве, если нет особой оговорки, относится к длине разрываемого бруска в 200 *мм* (8 дюймов).

[3] Некоторые авторы упоминают о 15 и даже 20 тыс. атмосфер, но это крайне преувеличено.

Так, вместо серебристо-белого цвета чугун получает темно-серый и почти черный вид в изломе, плотность еще более уменьшается, опускаясь иногда ниже 7; чугун теряет почти вовсе способность закаливаться при отливке; ковкость и тягучесть стали исчезают при значительно меньшем содержании углерода, нежели было указано выше. Вообще определение сколько-нибудь точных границ между сталью и чугуном становится весьма затруднительным и потому для практического определения стали необходимо придерживаться не столько химического состава, сколько характеристических свойств ее.

Таким образом, сталью называется такое соединение [2*] железа с углеродом в пределах приблизительно между $^1/_3$ и 2%, которое обладает ковкостью и тягучестью как при обыкновенной, так и при высоких температурах и вместе с тем обладает свойством получать закалку после нагревания до красного каления и быстрого затем охлаждения.

Ввиду того что при малых количествах углерода в железе влияние посторонних примесей на свойства железа менее заметно, к тому же и условия приготовления мягкого железа позволяют в значительной степени освобождаться от таких примесей, — при постепенном переходе от мягкого железа к стали не встречается таких отклонений, как это наблюдается при переходе от стали к чугуну, хотя и здесь есть некоторый промежуток, при содержании углерода около $^1/_3$%, когда трудно решить — где кончается железо и начинается сталь, так как успех закалки во многом зависит от искусства, норм же для определения степени закалки не установлено.

СТРУКТУРА СТАЛИ

Излом мягкого железа представляет матовую поверхность, отчасти волокнистую вследствие растяжения зерен в волокна при разрыве [4].

Излом чугуна или зернистый (серый и половинчатый чугун), или сильно кристаллический (белый чугун). У серого чугуна цвет излома более темный, иногда черный, с графитовыми блестками, у белого — почти совсем белый, часто не уступающий цвету серебра. Цвет излома стали колеблется между серебристо-белым и серовато-матовым, замечаемым в изломе железа. В изломе железа преобладает волокнистость, серого чугуна — зернистость, стали — зернистость и занозистость.

Железо представляет материал мягкий; при отделении частиц его друг от друга мы растягиваем их в фибры, следовательно, точного понятия о структуре взятого куска железа по волокнистому излому его составить не можем. Однако в некоторых случаях, как сказано выше, излом мягкого железа показывает ясные и несомненные признаки его кристаллического сложения; излом тогда представляет ясную и довольно совершенную

[4] Такой излом характеризует железо, подвергнутое механической обработке; оставленное же спокойно остывать после отливки или сварки железо принимает кристаллическое сложение, излом его тогда — блестящий, с ясно развитыми плоскостями спайности кристаллов, такие плоскости достигают иногда до 10 и даже до 15 *см*² протяжения.

кубическую спайность [5], а потому за первообразную кристаллическую форму железа следует принять куб.

В изломе чугуна мы не замечаем правильной кристаллизации, это обстоятельство и отнимает возможность отнести чугун к какой-либо определенной кристаллической системе, хотя и в этом случае нет недостатка в различных предположениях, в особенности по отношению к структуре белого зеркального чугуна. В сером чугуне этот вопрос особенно затемняется выделением пластинок графита, обволакивающего зерна, которые представляются в виде неправильных многогранников, ограниченных изогнутыми поверхностями.

Для определения кристаллической формы стали ближе всего было бы точно исследовать ее излом при помощи микроскопа; такое исследование, однако, затрудняется тем, что сталь, как вещество непрозрачное, требует освещения сверху, по недостатку которого невозможно рассматривать ее при больших увеличениях; если же на поверхность излома стали направить сильный свет, то при обилии блестящих поверхностей в поле зрения, расположенных к тому же в различных горизонтах, появляется такая сильная аберрация, что наблюдение снова затрудняется. Рассматривая излом стали при увеличении 300—400 раз, мы замечаем как бы груды кристаллических обломков, нагроможденных без всякого порядка, с неправильно оборванными краями, с изборожденными блестящими поверхностями, пересекающимися под самыми разнообразными, произвольными углами, так что из такого наблюдения нельзя составить себе сколько-нибудь точного понятия о кристаллической форме металла.

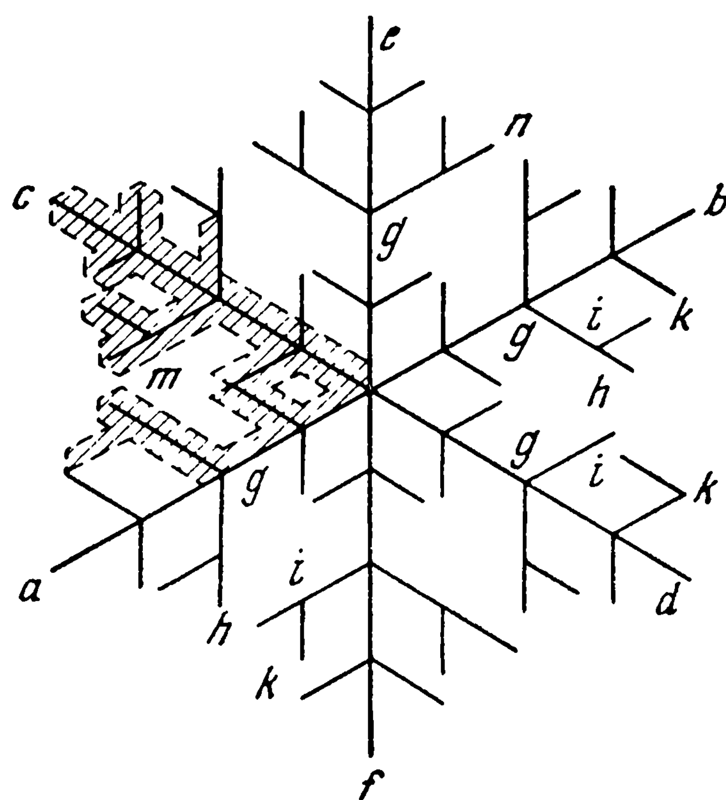
Растворение стали в кислотах может представить отдаленный, косвенный способ определения кристаллической формы ее массы ввиду того, что сталь чистого состава получить практически невозможно и в ней всегда замечаются некоторые посторонние примеси, преимущественно кремний; при растворении стали в кислотах железо совершенно растворяется, углерод же или совершенно переходит в углеводороды, или же только отчасти и образует хлопковатые остатки; заключавшийся в стали кремний под влиянием окислительного действия кислот переходит в водный кремнезем, причем некоторые части его сохраняют ту форму, какую имели заключавшие его стальные зерна; вид остатков кремния и углерода может, таким образом, дать некоторые указания на кристаллическую форму заключавшей его стали.

Более прямой и непосредственный путь определения кристаллической формы стали представляют наблюдения над отвердеванием расплавленной стали в моменты перехода ее из жидкого состояния в твердое.

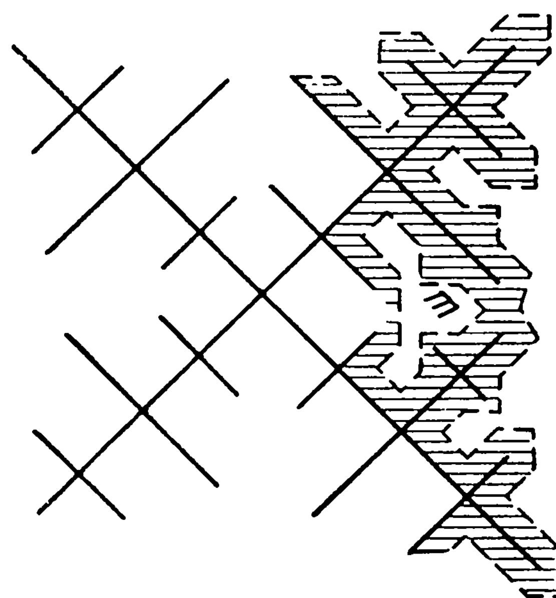
Наблюдая под микроскопом с большим увеличением образование кристаллов солей при выделении их из растворов, замечаем, что рост кристаллов от какой-нибудь точки выражается сначала быстрым появлением осей, ветвей или даже плоскостей, почти одновременно, по различным определенным направлениям, согласным с направлением кристаллографических осей образующихся кристаллов. От главных осей идут ветви

---

[5] То же и в самородном железе.



Фиг. 1



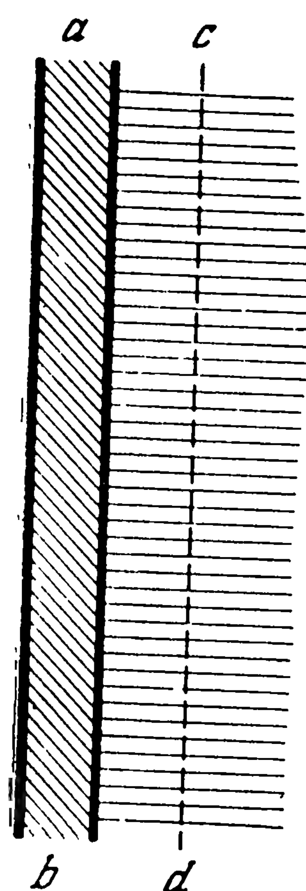
Фиг. 2

первого порядка, от них отбрасываются ветви второго порядка и т. д., это совершается такими быстрыми скачками, что уловить образование отдельных ветвей нет никакой возможности. Все эти быстро отброшенные ветви постепенно утолщаются и удлиняются, следствием чего является встреча и срастание соседних ветвей друг с другом.

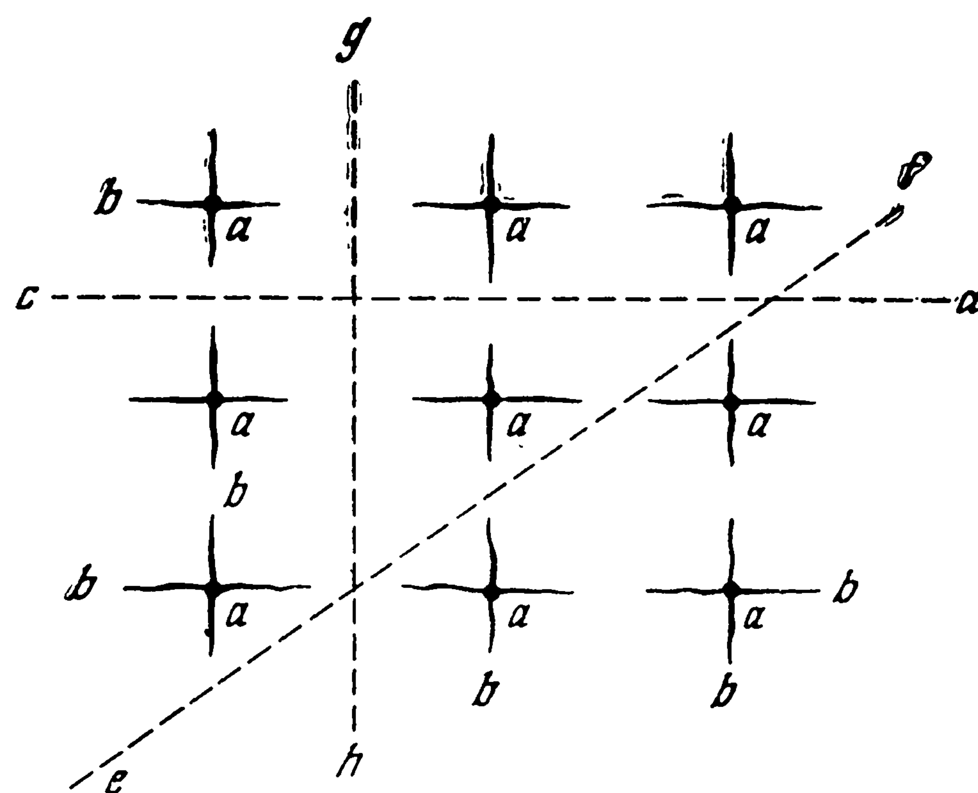
На фиг. 1 *ab*, *cd* и *ef* представляют главные оси образующегося кристалла, они растут несравненно быстрее, нежели боковые ветви *gh*, т. е. ветви 1-го порядка; отростки *ik* можно назвать ветвями 2-го порядка, пунктир показывает постепенное утолщение и срастание ветвей (см. также фиг. 2).

Иногда случается, что образование ветвей и разрастание таких, сетчатых, или прерывчатых, кристаллов идет так быстро, что между ветвями одного и того же кристалла или между срастающимися между собой соседними прерывчатыми кристаллами остаются замкнутыми со всех сторон промежутки *m* (фиг. 2), наполненные раствором, который продолжает питать рост или утолщение стенок кристалла до своего истощения. По окончании процесса кристаллизации в таких замкнутых клеточках остается истощенный раствор; если при кристаллизации объем затвердевающей части уменьшается и из раствора выделяются какие-либо газы, то они плавают в той замкнутой жидкости в виде пузырьков, как это, например, часто встречается внутри кристаллов каменной соли.

Только что сказанное о кристаллизации солей вообще применимо и к стали в момент ее затвердевания. Влитая в металлическую форму (изложницу) расплавленная сталь остывает и отвердевает сперва около стенок формы в виде коры; если, спустя некоторое время, удалить (вылить) еще незатвердевшую сталь из формы, то по внутренней поверхности коры легко видеть, каким путем происходит переход стали из жидкого состояния в твердое. Оказывается, что сталь в этом случае ведет себя как вещество кристаллизующееся, бросающее оси и ветви прерывчатых кристаллов, которые при рассмотрении под микроскопом являются в виде скелетов правильных октаэдров. Фиг. 8 на стр. 213 представляет с х е-



Фиг. 3



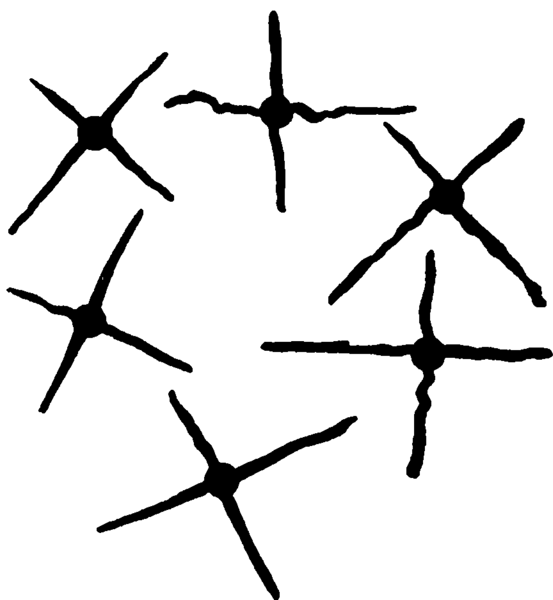
Фиг. 4

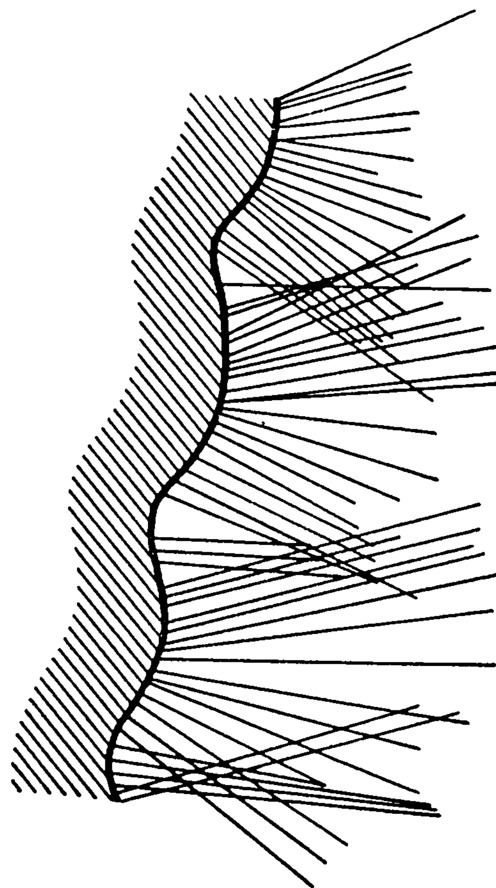
матическое изображение такого прерывчатого кристалла стали [6]. Главная ось обыкновенно направлена нормально к поверхности охлаждения; от главной оси отбрасываются во все четыре стороны, перпендикулярно к ней и между собой, ветви 1-го порядка *m*, а от этих последних таким же образом ветви 2-го порядка *n*, причем некоторые из них срастаются при встрече концами *k*. Изучая величину и направление этих ветвей, видим, что они все стремятся образовать как бы решетчатый скелет правильного октаэдра, по чему естественно заключить, что сталь кристаллизуется в правильную систему в виде октаэдра.

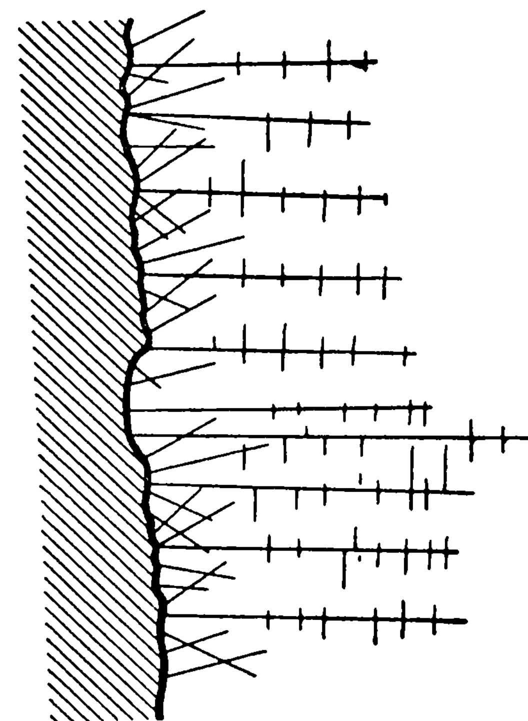
От условий остывания зависят более или менее спокойное и правильное развитие и рост кристаллов, а следовательно, более или менее совершенное обнаружение плоскостей спайности в изломе стали.

Таким образом, излом стали должен был бы представлять свойственные правильной системе плоскости спайности октаэдра или куба, подобно тому как в железе при кристаллическом изломе обнаруживается кубическая спайность. Однако не только отдельных кристаллов стали в виде октаэдров не попадается в изломе, но и ясное проявление октаэдрической спайности в кристаллическом изломе стали можно наблюдать лишь в редких случаях, с большим трудом, при помощи микроскопа. Причина невозможности нахождения в изломе стали отдельных, хорошо развитых кристаллов заключается в следующем. Пусть в сосуде (фиг. 3) налита жидкая сталь и стенка этого сосуда *ab* служит поверхностью охлаждения стали, тогда главные оси образующихся кристаллов будут располагаться нормально к поверхности охлаждения и бросание, или рост, их будет исходить из весьма большого числа точек этой поверхности, от главных осей отбра-

[6] В действительности ветви далеко не так отчетливо и чисто выделяются, нарастающий на них металл придает всему скелету несколько слитное и округленное очертание, как видно на фиг. 9 на стр. 213, представляющем снимок под микроскопом с двойникового кристалла стали при увеличении в 140 раз; буквами *a*,*a* обозначены замкнутые промежутки, соответствующие *m* на фиг. 2.


Фиг. 5

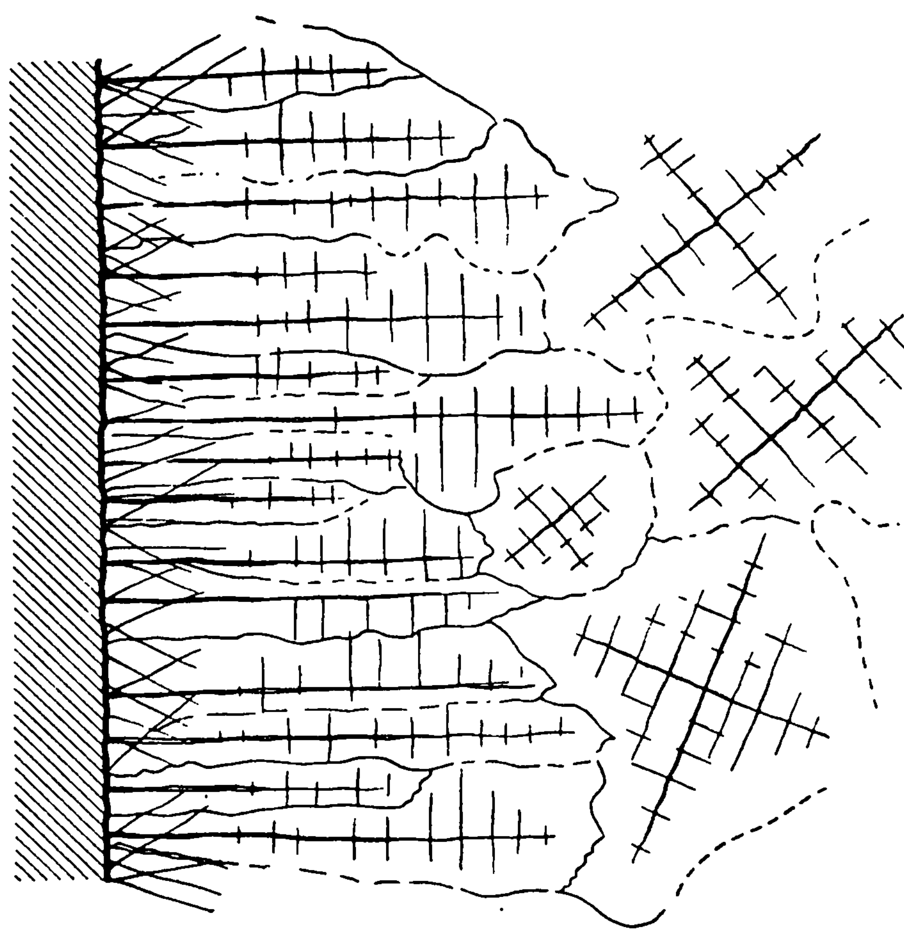

Фиг. 6


Фиг. 7

сываются боковые оси, которые встречаются с ветвями соседних осей и срастаются друг с другом. Хотя рост главных осей при быстром охлаждении несравненно быстрее роста боковых ветвей, но если бы главные оси располагались в каком-либо правильном порядке, а боковые ветви большого числа соседних кристаллов были расположены соответственно параллельно друг другу, то в поперечном разрезе по линии *cd* (фиг. 3) мы увидели бы проекции главных осей — точки *a* (как изображено на фиг. 4 в увеличенном виде) и боковые ветви *b* идущими от них навстречу друг другу с полным совпадением направлений, и в таком случае вид кристаллов можно было бы ясно определить по излому, так как затвердевший кусок кололся бы или по направлению *gh*, или по *cd*, или по *ef* и т. п., а масса затвердевшей стали представила бы тело как бы одного большого кристалла. На самом же деле как главные оси не размещены в каком-либо определенном порядке, так и боковые ветви не идут по одному какому-нибудь направлению, а встречаются между собой под самыми разнообразными углами, как показано на фиг. 5; вследствие этого в изломе стали плоскости спайности оказываются до того перепутанными, что не представляется возможности определить систему кристаллов по излому.

Другое обстоятельство, влияющее на перепутанность кристаллизации стали, — это неправильность очертания поверхности охлаждения. Выше мы принимали ее за плоскость и допускали параллельность главных осей (фиг. 4), чего, однако, на самом деле нет.

На фиг. 6 показана в увеличенном виде перепутанность направлений главных осей в случае не совершенно гладкой поверхности изложницы. Так как по мере нарастания затвердевающей коры стали и соответственного нагревания стенок изложницы отдача теплоты через стенки замедляется и влияние неровностей стенки изложницы значительно уменьшается, то дальнейший рост главных осей следует *среднему направлению*



Фиг. 8

отдачи тепла, т. е. нормальному к общему протяжению стенки изложницы, и они становятся почти параллельными между собой. Вернее сказать, тогда продолжают свободно расти и разветвляться те главные оси, которые с самого начала были нормальны к общему направлению поверхности охлаждающей стенки, как показано на фиг. 7, причем направление боковых ветвей остается все-таки спутанным.

Далее, с увеличением толщины застывающего слоя от поверхности охлаждения скорость передачи теплоты до того уменьшается, что наконец, температура застывающего внутри металла успевает почти совершенно уравниваться в различных точках и жидкость обращается как бы в кашеобразное состояние вследствие образования в различных ее точках зачатков кристаллов.

Далее, зачатки разрастаются осями и ветвями по различным направлениям, встречаются друг с другом и, срастаясь, представляют весьма перепутанные кристаллические группы затвердевшей массы.

Разрастание отдельных плавающих в металле скелетов идет свободно и медленно, а потому в центральных слоях получается сравнительно крупнокристаллическое сложение.

Таким образом, кристаллы в наружном тонком слое слитка более мелки и чрезвычайно перепутаны, затем переходят в параллельное между собой и нормальное к общему протяжению наружной поверхности призматическое расположение; наконец, в центральных слоях встречаются более развитые и разросшиеся кристаллические группы, расположенные в произвольных друг к другу направлениях, как представлено схематически в увеличенном виде на фиг. 8 [7].

Вязкость стали также отчасти мешает наблюдению кристаллов на изломе, она не позволяет чистому и ровному отделению плоскостей спайности, так как почти каждая пластинка, попадающая в излом, оказывается с несколько изогнутыми и неправильно оборванными краями, отчего даже, по-видимому, совсем гладкие плоскости под микроскопом кажутся изборожденными в различных направлениях. Ввиду спутанности направлений плоскостей спайности кристаллических групп и изборожденности

---

[7] Из рисунка видно, что как главные оси, так и боковые ветви развиваются неодинаково — более сильные кристаллы отнимают материал для своего образования от слабейших (рисунок увеличен приблизительно в три раза). Пунктирными линиями отграничены районы, в которых группировка частиц подчинена действию главных осей каждого кристалла.

поверхностей их отрыва излом стали имеет более или менее матовый вид, с рассеянными блестками и потому кажется скорее зернистым, нежели кристаллическим; соответственно виду излома часто говорят, что сталь имеет *крупно-* или *мелкозернистое* сложение.

Таким образом, главнейшим средством для определения кристаллической формы стали является наблюдение над затвердеванием стали при переходе ее из жидкого состояния в твердое; это наблюдение нам показывает, что сталь кристаллизуется в правильные октаэдры.

Для ознакомления со сталью как материалом для изготовления артиллерийских орудий, снарядов и т. п. предметов необходимо предварительно изучить физические, механические и химические свойства ее, затем уже несравненно легче отнестись критически к способам ее приготовления и обработки.

На самом деле, однако, такое изучение чрезвычайно затрудняется, с одной стороны, тем, что сталь не представляет по своему составу какого-либо определенного соединения, количество содержащегося в ней углерода колеблется в весьма широких пределах, с другой стороны, при одном и том же составе сталь представляется материалом, весьма изменчивым в своих свойствах под влиянием различных внешних воздействий, и такие изменения колеблются в довольно широких пределах, а потому при изучении свойств стали необходимо обратить особенное внимание на те обстоятельства, которые сопровождали ее приготовление и обработку.

ИЗМЕНЕНИЯ, ПРЕТЕРПЕВАЕМЫЕ СВОЙСТВАМИ СТАЛИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ПРИЧИН (ОБРАБОТКИ)

Обработка стали производится с двумя целями: 1) изменения свойств и 2) изменения размеров и форм.

Изменение свойств стали производится помощью теплоты в соединении с большею или меньшею скоростью охлаждения или же без участия теплоты — одними механическими средствами. Изменение размеров и форм данного куска стали достигается также или при пособии теплоты, или без ее пособия. Пособие теплоты проявляется или в расплавлении стали для придания ей формы отливкой, или только в размягчении ее для облегчения изменения форм помощью ковки, прокатки или прессования. Без участия теплоты, одними механическими силами, производится протяжка в проволоку и наклепка, холодная ковка и прокатка.

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВАНИЯ СТАЛИ В СОЕДИНЕНИИ С БОЛЬШЕЮ ИЛИ МЕНЬШЕЮ СКОРОСТЬЮ ОХЛАЖДЕНИЯ

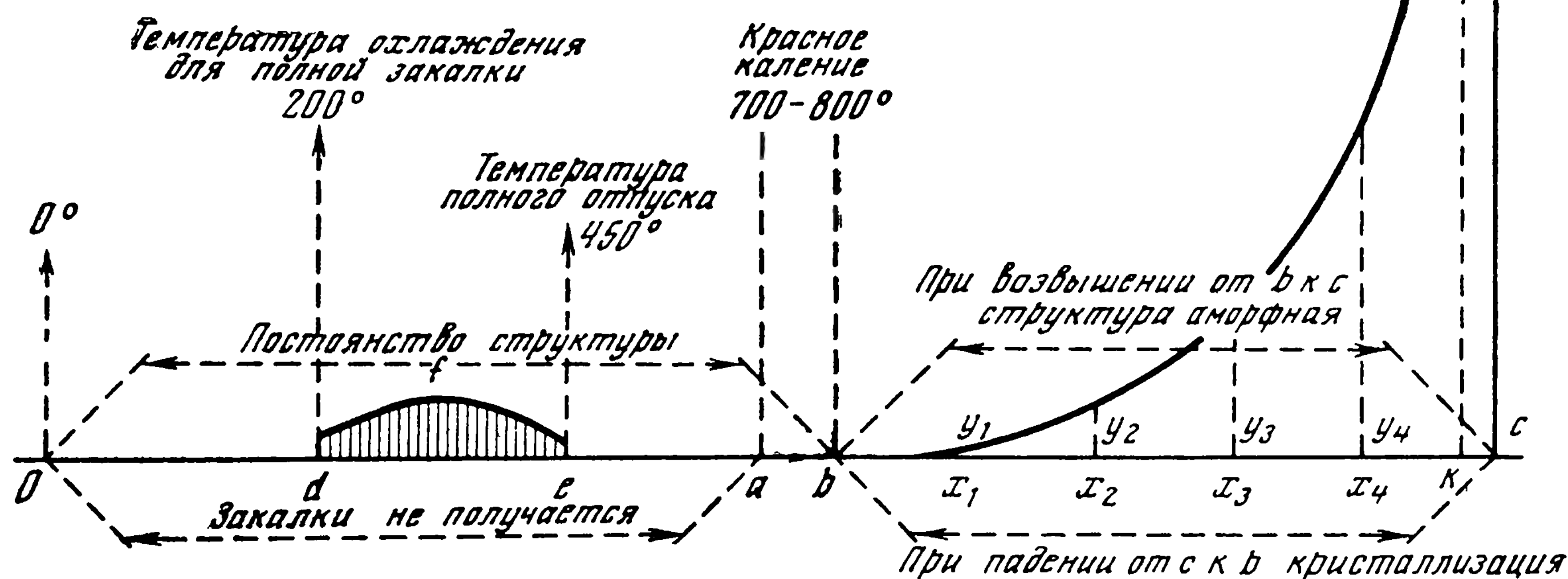
Если мы возьмем кусок стали, разломим его на две части, затем одну из частей нагреем до светло-красного каления и остудим, потом обработанный таким образом кусок переломим и сличим этот новый излом с изломом первого куска, то заметим, что вид излома изменился — внутреннее строение куска, структура стали изменились. При дальнейшем ис-

следовании оказывается, что вместе со структурою изменились и все свойства стали. Вот почему изучение влияния теплоты на свойства стали составляет основу для ознакомления со сталью как материалом для изготовления орудий, снарядов и т. п. предметов.

Для большей ясности и простоты изложения изобразим графически соотношение между некоторыми свойствами стали и различными температурами нагрева, от нуля до точки плавления стали. Пусть на фиг. 9 точка *o* изображает 0° термометрической шкалы, точка *b* соответствует температуре красного неблестящего каления (около 700—800° Ц), точка *c* — температуре плавления стали.

Точка *c*, как мы видели из определения стали, не постоянна для всех сортов стали: она тем более удалена от точки *o*, чем металл мягче, т. е. чем он менее углеродист и, следовательно, подходит ближе к железу, и, обратно, — чем сталь тверже, тем более в ней углерода, тем *c* ближе к *o*; точно так же изменяется и положение точки *b*: чем сталь мягче, чем углерода в ней меньше, тем точка *b* дальше от *o*, и обратно.

Значение температуры *b* заключается в том, что сталь, будучи нагрета до температур, низших *b*, и затем охлаждена, не изменяет своей структуры — излом ее сохраняет прежний вид. При нагревании же до температуры *b* сталь переходит из состояния кристаллического в аморфное (воскообразное), которое сохраняется затем при дальнейшем нагревании до температуры *c*, т. е. при движении от *b* к *c*; при охлаждении же, т. е. при обратном движении — от *c* к *b*, происходит снова кристаллизация стали, как показывает излом, причем меньшее удаление от точки *b* при нагреве и более ускоренное охлаждение дают излом мелкокристаллический, а более высокий нагрев и медленное охлаждение — крупнокристаллический. Необходимо, однако, заметить, что сталь с увеличением содержания углерода приобретает свойство, не замечаемое в мягком железе, — распадаться на части, рассыпаться или пушиться перед расплавлением. Чем более она содержит углерода, тем раньше перед расплавлением наступает момент рассыпания стали на от-



Фиг. 9

дельные зерна [8] и тем труднее становится сваривание кусков стали между собой или стали с железом. Ввиду этого необходимо отметить на нашем масштабе точку k, также перемещающуюся сообразно с составом стали, причем для более углеродистой стали она отдаляется от точки c в левую сторону, а для мягкого железа сливается с ней. Таким образом, промежуток между точками k и c можно назвать критическим для стали, в особенности для твердых ее разновидностей.

Значение точки a нашего масштаба заключается в том, что сталь, будучи нагрета ниже этой температуры (которая так же изменяется и в том же направлении, как и температура b, с изменением содержания углерода в стали), не принимает закалки — как бы быстро мы ее ни охлаждали, напротив того, в большинстве случаев становится мягче, нежели была до нагрева, и легче обрабатывается пилою и резцом. Таким образом, для того чтобы сталь от быстрого охлаждения получила закалку, необходимо, чтобы нагрев ее превосходил температуру a, которая весьма близка к температуре b и *для средних* (по твердости) *сортов стали* выражается обыкновенным вишнево-красным калением (около 700°). Для получения полной закалки, т. е. наибольшей твердости, какую в состоянии принять сталь, необходимо, чтобы охлаждение было ведено быстро до некоторой определенной температуры, не превышающей точки d нашего масштаба (около 200°), причем дальнейшее охлаждение может быть замедлено без заметного влияния на степень твердости стали. Если сталь, нагретая до температуры, высшей a, будет охлаждена быстро до какой-либо температуры, промежуточной между d и e, а затем охлаждение будет замедлено, то закалка будет тем слабее, чем ближе к e (около 450°) будет температура быстрого охлаждения; если быстрое охлаждение будет происходить до температур, высших e, то никакой заметной закалки не произойдет — сталь останется после такой операции мягкой. С другой стороны, если закаленная сталь будет нагрета до температуры, промежуточной между d и e, и затем быстро или медленно охлаждена, то твердость ее тем более уменьшится, чем температура нагрева будет ближе к e; если же нагрев превзойдет температуру e, не достигая a, то закалка совершенно исчезает и сталь становится от такой операции мягкой.

Комбинируя все сказанное, придем к следующему заключению:

сталь при возвышении температур до (ниже) b остается при том же сложен которое она имела до нагрева;

2) при еходе нагрева за температуру b сталь принимает такое состояние, в отором строение ее превращается из кристаллического в аморфное и оследнее может быть удержано (фиксировано) быстрым охлаждением до температур, низших b;

3) чем меньше мы перейдем за температуру b, тем совершеннее можем задержать аморфное сложение стали при охлаждении, т. е. тем мельче будет зерно в изломе стали [9].

[8] Под ударами молота сталь рассыпается как бы в раскаленный крупный песок.

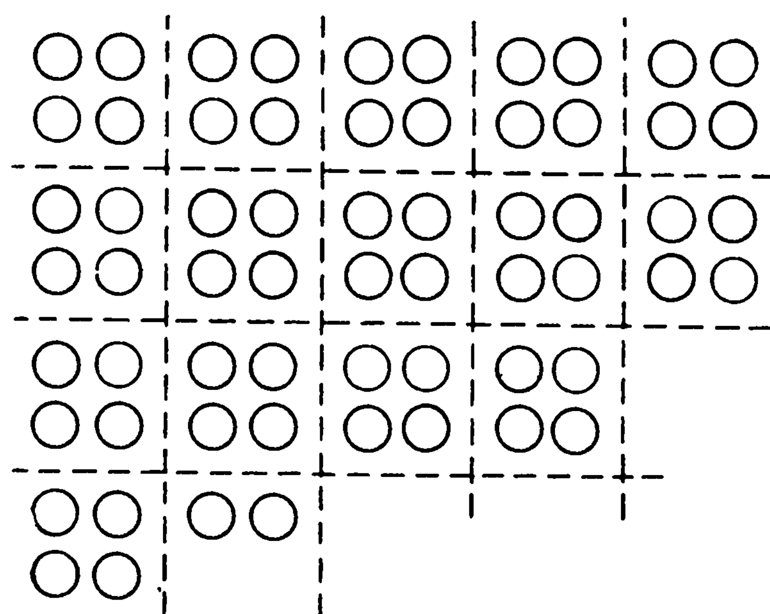
[9] Переход массы стали из кристаллического в аморфное состояние при температуре b и изменение сложения в обратном направлении при остывании от температур, высших b, до этой последней можно объяснить следующею гипотезою.

Ввиду того что *при более высоких температурах*, следовательно при большей свободе частичных перемещений, группировка частиц в кристаллы облегчается, а при одинаковой скорости охлаждения понижение температуры за точку b потребует большего времени, очевидно, что для задержки

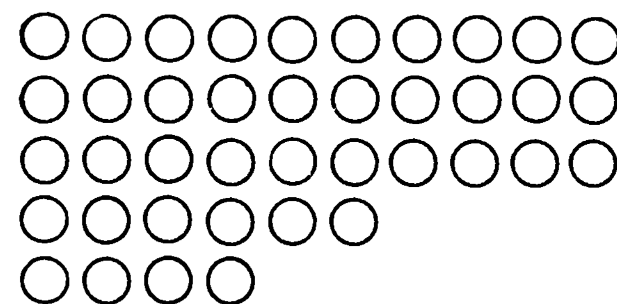
Представим себе кристаллическое сложение в виде особой группировки *частиц* стали (состоящих *каждая из нескольких атомов углерода и железа*, расположенных относительно друг друга в известном порядке, *в зависимости как от процентного содержания углерода, так и от условий обработки стали*) таким образом, что по некоторым направлениям, в зависимости от кристаллической формы, частицы сближены более, чем по другим направлениям, и расположены рядами, например так, как показано на фиг. 10, или как-нибудь иначе. Положим, что при расширении кристалла от нагревания расстояния между более сближенными частицами увеличиваются быстрее, нежели между менее сближенными (это можно допустить ввиду неодинаковой проводимости кристаллов для теплоты, света и электричества по различным направлениям). При таком предположении непременно наступит момент, когда при некоторой температуре b расстояния между всеми частицами по всем направлениям сделаются одинаковыми, следовательно, особая группировка частиц (т. е. кристаллическое сложение) будет разрушена, полученное же сложение будет несомненно аморфное (фиг. 11).

Пусть при *дальнейшем возвышении температуры*, когда частицы стремятся удалиться одна от другой, расстояния увеличиваются одинаково между всеми частицами до самой температуры плавления. Остановим, однако, нагревание при некоторой температуре t; всякое затем понижение температуры вызывает сближение частиц между собой. Нам известно, что почти без всяких исключений все вещества при благоприятных обстоятельствах (температуры, влажности, продолжительного покоя и пр.) принимают определенную, им свойственную для данных обстоятельств структуру; следовательно, если для стали свойственна известная кристаллическая форма, то при сближении частиц они стремятся вступить в известную группировку по отношению к некоторым, рассеянным в массе более правильно организованным или более сложным, или более простым частицам, которые можно назвать местными центрами кристаллизации, положим *aa* на фиг. 12. Тогда около этих частиц намечается вся будущая кристаллическая группировка при дальнейшем охлаждении.

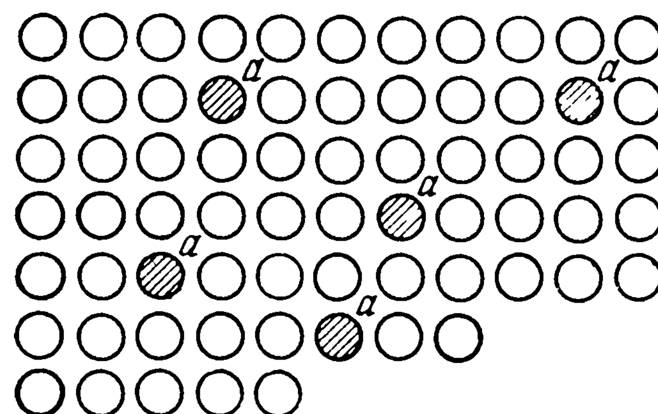
Как мы видели при росте кристаллических скелетов во время затвердевания стали, при переходе ее из жидкого состояния в твердое, так и здесь: некоторые центры окажутся сильнее, другие слабее, — одни привлекут в свою группу большее число частиц, другие меньшее; если понижение температуры совершается очень медленно,



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

кристаллизации в одинаковой степени при нагревании до более высоких температур нужна и большая быстрота охлаждения. Эта зависимость скорости охлаждения от температуры данного нагрева может быть выражена кривой bB (фиг. 9), абсциссы которой x_1, x_2, x_3, . . . означают температуры нагревов, а ординаты y_1, y_2, y_3. . . — соответственные скорости охлаждения [10]. Кривая эта в силу критического промежутка kc никогда не приближается к перпендикуляру, восстановленному в c, который можно считать за асимптоту этой кривой.

ЗАКАЛКА СТАЛИ

Выше мы сказали, что для получения закалки необходимы три главных условия: известная степень нагрева, известная степень охлаждения и быстрота охлаждения.

Что касается степени нагрева, то мы видели, что необходимо достигать температуры a, весьма близкой к b, т. е. к температуре красного каления (700°) [11], изменяющейся вместе с количеством углерода в стали.

На основании многочисленных опытов и вековой практики известно, что для некоторого уменьшения хрупкости сильно закаленной стали необходимо нагреть ее до такой степени, чтобы на чистой поверхности ее появилась легкая побежалость слабого желтого цвета, и затем быстро или медленно охладить, при этом и твердость стали несколько уменьшается. Так как явление такой побежалости замечается лишь при температуре, несколько превышающей 200 °Ц, то можно сказать, что температура, низшая 200°, не оказывает заметного влияния на закалку [12],

---

то сильнейшие центры распространяют свое влияние даже на соседние, уже законченные группировки около слабейших центров, разрушают их строй и присоединяют к своей группе их частицы. Примеры этому наблюдаются под микроскопом при кристаллизации солей из растворов и их расплавленных масс.

Таким образом, при более ускоренном охлаждении не могут образоваться такие сильно развитые кристаллические группы, как при медленном; высота температуры нагрева, обусловливая большую свободу перемещений частиц, имеет также существенное влияние на результат группировки при охлаждении.

Так как при нагревании стали до температур, низших b, изменений в структуре не замечается, то надо полагать, что при остывании стали от высоких температур в ней закрепляется та группировка частиц, какую застанет температура b. А потому большее или меньшее развитие кристаллического сложения зависит как от высоты температуры нагрева, так и от скорости охлаждения до температуры b, ниже которой уже вполне фиксируется захваченная ею структура, или относительное расположение частиц. Отсюда видно, что если мы нагреем кусок стали данной кристаллической структуры до температуры b и таким образом разрушим кристаллическую группировку частиц, приведя последние в равные взаимные расстояния, и тотчас же быстро понизим температуру куска, то аморфная структура стали может быть фиксирована совершенно.

[10] Величины y_1, y_2, y_3, . . . можно рассматривать как знаменатели дроби, с единицей в числителе, выражающей части единицы времени, принятой для измерения скорости охлаждения нагретой стали; тогда большему y будет соответствовать и большая скорость охлаждения.

[11] Для очень твердых, богатых углеродом сортов стали, в особенности для содержащих хром или вольфрам, температуры a и b значительно ниже.

[12] Исследования Барюса и Стругаля показали, что нагревание закаленной стали до температур даже низших 100° уже оказывает влияние на ее электропроводность,

тем более что при быстром охлаждении стали после нагрева выше температуры *a* до температуры около 200° получается закалка, не отличающаяся заметно от закалки в холодной воде. Отсюда видно, что для отмеченной на нашей шкале точки *d* можно принять температуру около 200 °Ц [4*].

Для определения наименьшей скорости охлаждения, при которой может произойти хорошая закалка, было сделано слишком мало опытов, чтобы можно было выразить ее в точных цифрах. Однако из опытов Карона и других можно заключить, что для получения хорошей закалки время охлаждения между температурами *a* и *d* не должно превышать 5 сек.; если же этот переход замедлится до 8 сек. или более, то закалки не получается. Вообще же говоря, чем быстрее охлаждение, тем сильнее закалка.

Быстрота охлаждения известного куска стали зависит от многих обстоятельств, а именно: от размеров куска, формы и вида поверхности его, степени нагрева [13], температуры охлаждающей среды, ее теплопроводности, температуры кипения охлаждающей жидкости, большей или меньшей скорости движения предмета в охлаждающей среде и т. п.

Самая обыкновенная и во многих отношениях удобнейшая охлаждающая жидкость есть чистая холодная дождевая, речная или колодезная вода; для усиления ее охлаждающего действия к ней прибавляют некоторое количество солей или кислот для увеличения ее теплопроводности и пускают струями на закаливаемый предмет. Наибольшая скорость охлаждения достигается погружением закаливаемого предмета в холодную ртуть, однако жидкость эта очень неудобна по вредности ее паров для здоровья.

Для замедления охлаждения употребляют жидкости, трудно проводящие теплоту, например мыльную воду, масло и т. п., однако лучше и в этом случае употреблять воду, настолько подогретую, чтобы получилось желаемое замедление. Необходимо заметить, что в воде при 100 °Ц закалки почти вовсе не получается, однако причиной тому является вовсе не температура 100° сама по себе [14], а лишь то обстоятельство, что вокруг погруженного горячего предмета тотчас же образуется слой пара, препятствующий быстрой отдаче теплоты, и таким образом охлаждение замедляется свыше крайнего, необходимого для закалки предела.

ОТПУСКАНИЕ СТАЛИ

От операции закалки сталь приобретает большую твердость и вместе с тем теряет вязкость и гибкость тем в большей степени, чем больше в ней углерода и чем быстрее она была охлаждена при закалке. Если твердой

по отношению же твердости и хрупкости влияние температур, близких к 200°, очень слабо даже при продолжительном действии, а потому для практических целей можно считать 200° за низший предел нагрева, оказывающего влияние на закалку, тем более, что по опытам Осмонда первое заметное выделение скрытой теплоты закаленной стали начинается при температуре около 200° [3*].

[13] Принимая во внимание сказанное выше о влиянии высоких нагревов на развитие кристаллического сложения стали, температуру нагрева при закалке должно по возможности меньше удалять от температуры *a*.

[14] Стальные брусочки до $^3/_4$ дюйма толщиной получают прекрасную закалку в сплаве олова со свинцом при температуре около 195°.

стали придать крайнюю степень закалки, то она делается так хрупка, что не может непосредственно удовлетворять цели своего назначения. Для уменьшения хрупкости и придания вязкости прибегают к нагреванию сильно закаленной стали до температур, лежащих приблизительно между 220 и 350 °Ц, смотря по степени требующейся вязкости и гибкости. При этом степень нагрева определяется или температурой среды, в которой производится нагревание, или же по цвету побежалости, появляющейся на очищенной поверхности стали при нагревании.

Чем далее мы будем отходить от 220°, тем побежалость будет рельефнее, и цвета побежалости, по мере возвышения температуры, представляют следующие постепенные переходы: *желтый*, *оранжевый*, *пурпуровый*, *фиолетовый*, *голубой*, *синий и водянисто-зеленый* (350 °Ц)[15]. После этого перелива цветов поверхность принимает обыкновенный металлический вид с сероватым оттенком и затем при дальнейшем нагревании снова появляются побежалые цвета в том же порядке, но с меньшей яркостью, следуя один за другим быстрее, нежели в первый раз, и заканчиваясь

Таблица 1

Цвет	Температура по Цельсию	Изделия
Очень бледный соломенный Немного темнее	221 232	Ланцеты, бритвы, напильники, резцы для обточки или строгания металлов, сверла
Темный соломенный Еще более темный Буровато-желтый	243 254 260	Инструменты для резания дерева, винтовальные доски
Бронзовый, переходящий в пурпуровый Пурпуровый Фиолетовый Синий	271 277 288 299	Топоры, зубила с тонким лезвием, пилы столярные. Пружины и рессоры
Темно-синий Светлее Еще светлее, с зеленоватым отливом Водянисто-зеленый	310 321 330 350	Слишком сильный отпуск для поименованных выше изделий

[15] Явление побежалости происходит вследствие образования на чистой поверхности стали весьма тонкого слоя хорошо просвечивающего окисла; по мере утолщения такого слоя отражаемый поверхностью стали и проходящий сквозь этот слой свет получает последовательно обозначенные выше цвета. Так как толщина слоя окисла зависит не только от высоты температуры, но и от продолжительности действия кислорода воздуха при одной и той же температуре, то при отпускании стали можно руководствоваться цветом побежалости лишь при условии сравнительно скорого появления желаемого цвета после начала соломенно-желтой побежалости, примерно в продолжение одной, много — двух минут, иначе можно впасть в ошибку.

при температуре около 430—450°; вскоре затем (при 500°) наступает слегка видимое в темноте красно-бурое каление.

Таким образом, желая получить сталь определенной твердости, гибкости и вязкости, можно оперировать при закалке двояким образом: или соответственно замедлить охлаждение, применяя надлежащую жидкость (так, например, более или менее подогретую воду, масло, растопленное сало и т. п.), или придать стали сильную закалку быстрым охлаждением и затем подогреванием до температур 220—350° придать ей надлежащую степень требуемых качеств. Подогревание стали с этой целью после закалки называется *отпусканием*.

В табл. 1 указаны приблизительные температуры отпускания с соответствующими цветами побежалости в применении к различным предметам.

ЯВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ЗАКАЛКУ И ОТПУСК СТАЛИ

Так как свойство железа принимать закалку находится в зависимости от содержания в нем углерода и так как чистое железо таким свойством не обладает [16], то необходимо заключить, что закалка есть следствие изменений, происходящих в соотношениях между железом и углеродом под влиянием нагрева и охлаждения.

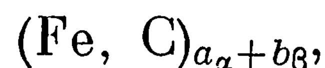
Трудно сказать, какому соединению углерода с железом присуще свойство закалки — определенному ли химическому или неопределенному — в виде раствора, так как при всяких разнообразных пропорциях, в принятых нами крайних пределах для стали, соединение этих двух элементов обладает свойством принимать закалку. Из многочисленных исследований в этой области, между которыми особенно заслуживают внимания недавние работы Абеля, Осмонда, Форкиньона, Ледебура, Робертс-Аустена и других, в настоящее время всеми допускается, что углерод в стали является по крайней мере в двух различных состояниях, неодинаково относящихся к кислотам при растворении стали, причем относительные количества того или другого вида углерода изменяются в зависимости от условий обработки стали. Если возьмем сталь в нормальном состоянии (т. е. в состоянии наибольшей ее плотности) и проанализируем растворение ее в кислотах, то заметим, что весь углерод, входящий в ее состав, одинаково относится к данной кислоте (образуя, например, углеводороды, углеводы или углистые осадки). Если же станем растворять сталь после закалки, то заметим, что уже не весь углерод относится одинаково к данной кислоте, причем количество изменившегося в своих свойствах углерода находится в прямой зависимости от степени закалки; такое явление показывает, что при закалке происходит изменение в соединении углерода с железом. При нагревании закаленной стали до темпера-

---

16 Недавние (1890—1891 гг.) опыты доктора Балля показали, что при быстром охлаждении железа после нагревания до температуры 1300° оно становится значительно тверже. Вопрос этот, однако, до сих пор недостаточно разъяснен, так как опыты других исследователей пока не подтвердили заключений доктора Балля [5*].

тур от 200° и далее, т. е. при отпускании, количество измененного углерода уменьшается в зависимости от степени отпуска.

Пусть весь углерод в некотором соединении с железом был первоначально, до закалки, в состоянии α; изобразим эмпирически такое неопределенное соединение знаком $(Fe, C)_\alpha$ (не обращая внимания на пайность). Другое измененное состояние, в которое переходит углерод после закалки, обозначим через C_β. После нагревания закаленной стали до 200° и далее мы увидим, что углерод в стали отчасти находится в состоянии α и отчасти в состоянии β, это новое состояние стали можно изобразить так:



$$(Fe,\ C)_{a_\alpha+b_\beta},$$

где коэффициенты a и b всегда удовлетворяют равенству $a+b=1$, т. е. при изменении a от нуля до единицы b изменяется от единицы до нуля [6*].

Из сопоставления всего вышесказанного видно, что полная перемена в состоянии углерода при закалке происходит в промежутке понижения температуры от a до d нашего масштаба и что обратные изменения, связанные с изменениями свойств стали при отпускании, в особенности рельефно выражаются при повышении температуры между d и e.

Такой вид углерода, который относится к кислоте, как углерод до закалки, называется углеродом цементации, а как углерод после закалки — углеродом закала. Обширные исследования, предпринятые инж. Осмондом для разработки вопроса о влиянии закалки и отпускания на состояние углерода в стали, дали повод заключить, что не только углерод принимает два различных состояния, но и само железо, как это еще ранее замечено Пионшоном и Ле Шателье, принимает два аллотропических состояния: α и β, соответственно изменениям температур с той или другой скоростью при нагревании и охлаждении стали во время закалки и отпускания. Наблюдения термические производились помощью термоэлектрического пирометра Ле Шателье, причем основанием для суждения о происходящих превращениях в состоянии углерода и железа служили задержки или ускорения в непрерывных изменениях температур стали при ее равномерном нагревании или охлаждении. Такие пертурбации, несомненно, указывали на поглощение или освобождение скрытой теплоты при наступлении некоторых определенных температур. Рука об руку с термическими наблюдениями шел постоянно и химический анализ испытуемой стали. На основании полученных данных Осмонд построил следующую гипотезу для объяснения явлений закалки и отпускания.

В незакаленной стали углерод находится в некотором определенном химическом соединении с соответствующим количеством железа (образует некоторый карбид). Соединение это распространено по всей массе стали, находясь как бы в растворе, иногда же в виде прожилок или отдельных скоплений во всей несоединенной с углеродом массе железа, которое, в свою очередь, находится в обыкновенном состоянии α. Как только температура стали возвысится до a (около 600—700°), тотчас же начинает распадаться химическое соединение железа с углеродом, причем послед-

ний остается в растворе во всей массе железа в свободном состоянии. Вслед за тем влиянием этого свободного углерода железо переходит из состояния α в аллотропическое состояние β [17]. Чем больше углерода заключается в стали, тем скорее и полнее совершается это превращение; при сравнительно очень малом содержании углерода, например в электролитическом железе (около 0,03%), превращение железа α в железо β происходит при более высокой температуре — около 855°. Следующее за таким нагреванием очень быстрое охлаждение при закалке не дает возможности (времени) углероду вновь войти в химическое соединение с железом для образования карбида; он остается в таком же свободном и растворенном в железе виде, препятствуя в большей или меньшей степени (смотря по относительному количеству углерода) также и переходу железа обратно из состояния β в обыкновенное состояние α.

Если охлаждение происходит медленно, то углерод успевает вновь соединиться с соответственным количеством железа в определенный карбид и, уже будучи связан, не оказывает задерживающего влияния на превращение железа, которое и переходит из состояния β в состояние α.

В действительности при закалке стали охлаждение совершается не моментально, а потому всегда процессы соединения углерода с железом в карбид и превращения остальной массы железа из состояния β в состояние α в большей или меньшей мере успевают совершиться, и в той же мере результаты операции будут удаляться от полной закалки.

При отпускании закаленной стали углерод постепенно вновь вступает в соединение с соответствующим количеством железа начиная от температуры около 200°; при 400° уже почти весь углерод вступает в определенное соединение (карбид) и только слабые следы окончания этого процесса продолжаются до температуры 520°. При этом оказывается (опыты Барюса и Стругаля), что каждой температуре между 200 и 400° соответствует известная степень этой реакции, далее которой она не идет даже при продолжительном действии данной температуры. Термические наблюдения показывают, что при этих процессах, т. е. при превращении железа β в железо α и при образовании карбида, высвобождается скрытая теплота.

Осмонд склонен приписывать твердость закаленной стали главным образом железу в его аллотропическом состоянии β, и если твердость от закалки возрастает с увеличением количества углерода в стали, то лишь потому, что большое количество углерода содействует более полному превращению железа из состояния α в состояние β [18].

Не ограничиваясь, однако, высказанными до сих пор гипотезами, можно взглянуть на явления закалки и отпускания с другой точки зрения, не прибегая к предположению об особом изменении состояния угле-

---

[17] Термические наблюдения показывают, что как при распадении карбида, так и при переходе железа из состояния α в состояние β сталь поглощает теплоту.

[18] В настоящее время предложено несколько новых гипотез, вращающихся в одном заколдованном кругу и вместо разъяснения лишь запутывающих весьма интересный и важный не в одном только теоретическом отношении вопрос о закалке стали [7*].

рода независимо от железа. Так, например, подобно тому как мы рассматривали изменения структуры стали в зависимости от того или другого относительного расположения и группировки сложных частиц стали, можно рассматривать и явления закалки и отпускания как результат того или другого расположения и группировки атомов в сложной частице стали.

Как для структуры перегруппировка частиц имеет место между температурами *b* и *c*, так здесь перегруппировка атомов в частице может совершаться преимущественно в промежутке между температурами *d* и *e*, приблизительно от 200 до 450°, причем каждою из этих промежуточных температур обусловливается известная степень атомной свободы для восстановления устойчивого равновесия в частице, которое не могло совершиться при закалке вследствие слишком быстрого охлаждения. В зависимости от различного взаимного расположения (уравновешенного или напряженного) атомов в частице изменяется и ее объем; вместе с тем относительное положение (центральное, периферическое или промежуточное) атомов углерода между атомами железа в частице стали обусловливает, при растворении ее в кислотах, различное отношение замещаемого железом кислотного водорода (in statu nascendi) к более или менее доступным атомам углерода и, следовательно, образование углеводородов, углеводов или углистых осадков.

Такой взгляд на явления закалки как на изменения, происходящие в *одинаковой* степени, *одновременно во всех* частицах стали, оправдывается появлением новых свойств стали при ее отпускании после закалки. Так, например, развитие чрезвычайно большой упругой гибкости, тягучести и сжимаемости, так сказать каучуковых свойств, при отпускании стали приблизительно до 280—290° (фиолетовый цвет побежалости) не может быть объясняемо тем, что большая часть углерода уже вошла в соединение с железом, образовала карбид, и только небольшая часть его осталась в виде углерода закала. В таком случае при дальнейшем превращении углерода следовало бы ожидать еще большего развития вышеназванных свойств, однако замечается совершенно обратное — свойства эти почти исчезают после полного отпускания, тогда как до фиолетовой побежалости они постоянно возрастали; в химических же реакциях при растворении стали за весь период отпускания такой *волны* не замечается.

Не лишне упомянуть о долгое время господствовавшей теории закалки, высказанной впервые Кароном, проводившим полную аналогию между действием ковки на сравнительно холодную сталь (наклепки) и действием быстрого сжатия наружного слоя нагретой стали от охлаждения при закалке.

Как в первом случае от ударов молота сталь становится тверже и хрупче, так и во втором — твердость закаливаемой стали происходит от быстрого сжатия (как бы удара) наружного слоя при быстром его охлаждении. Взгляд этот разделялся очень многими авторитетами до самого последнего времени, хотя здесь очевидное противоречие: при наклепке твердеющая сталь, действительно, подвергается сжимающему действию молота; при закалке же наиболее твердеет именно наружный

слой (как быстрее других слоев охлаждающийся), который подвергается *растягиванию* за невозможностью сжать находящийся внутри и замкнутый со всех сторон этим наружным слоем еще неостывший, раскаленный металл, причем на этот последний и обрушивается все давление (или весь удар) от стремления наружного слоя к быстрому сжатию. Этот внутренний металл, охлаждаясь медленнее, закаливается слабее и остается более мягким. К тому же, исследования Осмонда и Верта показали, что углерод холоднонаклепанной стали относится при растворении как углерод вообще *незакаленной стали*, как и до *наклепки*, а не как углерод закала.

ТЕПЛОЛОМКОСТЬ СТАЛИ

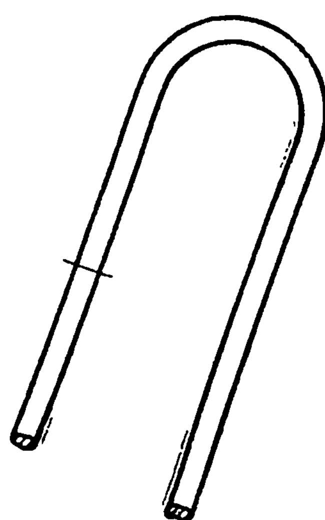
Замечательно то обстоятельство, что в период наиболее рельефного изменения свойств стали при отпускании, т. е. в пределах температур *d* и *e*, сталь даже при очень малом содержании углерода теряет бóльшую часть той тягучести и вязкости, какой она обладает как при обыкновенной температуре, так и при красном калении. Так, например, если возьмем



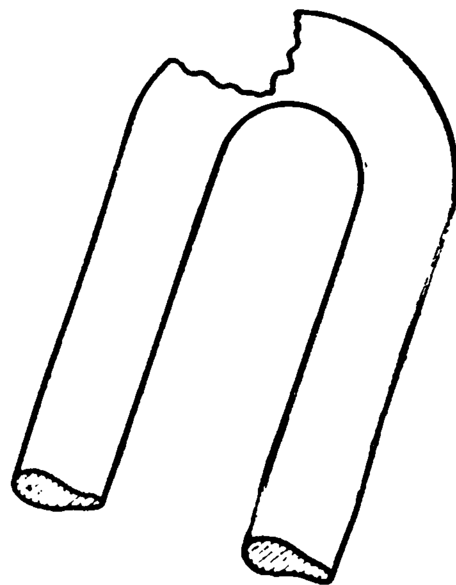
Фиг. 13



Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16

круглый или плоский кусок стали, способный сгибаться в холодном состоянии под молотом, как показано на фиг. 13 и 14, совершенно вплотную, без всякого обнаружения каких-либо надрывов в сгибе, и станем сгибать такую сталь при температурах между 250—350°, то оказывается, что сталь не может уже согнуться вплотную и дает большие надрывы в сгибе, как показано на фиг. 15 и 16, иногда же совсем переламывается. Такое свойство можно назвать теплоломкостью [8*] (в отличие от хладно- и красноломкости).

Трудно сказать, по недостатку наблюдений, существует ли такой критический промежуток для самых чистых сортов железа; что же касается до находящегося в продаже лучшего сварочного железа, то в нем весьма ясно наблюдается теплоломкость при вышеуказанных температурах.

Опыты с лучшим демидовским железом, полученным кричным способом, показали существование в сильной степени теплоломкости. Так как обыкновенно приготовляемое в продажу железо содержит около 0,12—

0,15% углерода, то при отсутствии опытных данных для совершенно чистого железа трудно сказать — зависит ли свойство теплоломкости исключительно от присутствия в железе углерода, или от присутствия других элементов, или это лежит в свойствах самого железа.

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА ПЛОТНОСТЬ СТАЛИ

Закалка и отпускание стали оказывают значительное влияние на ее *плотность*. Если кусок стали, обладающий наибольшей плотностью, нагреть до температуры, меньшей *a*, и быстро охлаждать, то не замечается изменения ни в *сложении*, ни в *твердости*, ни в *плотности*. При нагревании же выше температуры *a* и быстром охлаждении, т. е. при закалке, *плотность стали уменьшается* и тем больше, чем быстрее было охлаждение и чем сталь богаче углеродом, т. е. чем большую закалку она получает. Если сильно закаленную сталь нагреть до какой-либо температуры, заключающейся между точками *d* и *e*, то по охлаждении мы заметим возрастание ее плотности, тем большее, чем ближе температура нагрева приближалась к *e*.

Таким образом, существует неразрывная связь между увеличением объема и твердостью стали и изменением во взаимной группировке атомов углерода и железа, обусловливающей увеличение объема самих частиц стали, а может быть, и расстояний между ними.

Измерение удельного веса стали и изменений ее объема от закалки и отпускания показывает, что при хорошей закалке стали средней твердости, с содержанием около $^3/_4$% углерода, объем возрастает, т. е. плотность уменьшается на 1%; при последовательном отпускании объем опять соответственно уменьшается, причем после отпускания до синего цвета в стали остается еще около 25% первоначального увеличения объема. Необходимо прибавить, что повторение закалки одного и того же куска стали не производит уже дальнейшего увеличения ее объема, если температура нагрева и скорость охлаждения в обоих случаях были одинаковы; более же высокая температура при повторенной закалке вызывает некоторое дальнейшее увеличение объема. Однако такое увеличение есть чисто случайное, вследствие нагрева, опять исчезающее при повторении первоначальных условий закалки, если не образовалось каких-либо (часто едва заметных только под лупой) трещин от частого повторения закалки.

Опыт не подтверждает заключения Карона о постоянном увеличении объема стали после каждой новой закалки, причем будто бы прикованные бруски укорачиваются в длину и увеличиваются в поперечных размерах, приближаясь к кубу, а прокатанные бруски увеличиваются в длину. Данные, сообщенные Кароном по этому предмету, перепечатываются до сих пор в специальных сочинениях без надлежащей критики.

Из предыдущего видно, что при закалке какого-либо предмета выступающие части, острые углы, ребра, лезвия клинков и режущих инструментов, подвергаясь более сильному действию печного жара при нагревании и более быстрому охлаждающему действию при закалке, получают большую против остальных частей твердость, закаливаются сильнее,

следовательно, объем их от закалки увеличивается больше, нежели в остальных частях, отчего в закаленном предмете являются внутренние частичные напряжения, иногда достигающие такой сильной степени, что появляются трещины и даже распадение закаливаемого предмета на части [19]. Ввиду этого обстоятельства и является необходимость каждый закаленный предмет отпустить; нагревание при отпуске должно производиться с большой осторожностью и постепенностью, чтобы быстрым нагревом выдающихся частей, и без того уже увеличенных в объеме, не вызвать еще больших напряжений, могущих произвести трещины.

Таким образом, отпускание стали после закалки приносит двойную пользу: дает возможность придать стали, смотря по степени нагрева, желаемые качества (твердость, упругость, гибкость) и уменьшает или даже совсем уничтожает (если внутренние слои металла получили такую степень закалки, до какой отпускаются сильнее закалившиеся наружные слои) внутренние частичные напряжения в закаленном предмете.

Для более правильного и однообразного отпускания вместо наблюдения цвета побежалости на отпускаемом предмете употребляют или масляную ванну, нагретую до степени желаемого отпуска, или металлическую ванну из сплава свинца с оловом, плавящегося при температуре или нагретого до температуры отпуска. Погружение на несколько минут в такую ванну вполне обеспечивает надлежащую степень и равномерность отпускания.

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Увеличение объема частиц или же междучастичных расстояний в закаленной стали сопровождается возрастанием внутренних частичных сил, частичных напряжений. В самом деле, опыты показывают, что закаленная сталь значительно *труднее проводит электрический ток и труднее намагничивается*; однако после продолжительного намагничивания в такой стали магнетизм удерживается чрезвычайно долго; на таком свойстве закаленной стали основано ее употребление с давних пор для изготовления компасных стрелок. С увеличением же плотности стали при отпускании, т. е. с уменьшением расстояний между частицами и ослаблением напряжений частичных сил, свойства проводимости электричества и магнитной восприимчивости стали возрастают, тогда как задерживательная магнитная способность уменьшается. Чистое же железо хотя весьма чувствительно к намагничиванию, но зато вовсе не удерживает магнетизма; это свойство железа послужило основанием для устройства современных телеграфных аппаратов, телефонов и т. п.

Ввиду тесной связи между степенью напряженности частичных сил в стали и способностью ее воспринимать и удерживать магнетизм, большой современный интерес представляют опыты (1884 г.) английского профес-

[19] В таких случаях тонкие ребра, лезвия, выступы и т. п. выдающиеся части закаливаемых предметов покрывают тонким слоем глины или мела для защиты от перегрева перед закалкой и вместе от слишком быстрого охлаждения при закалке.

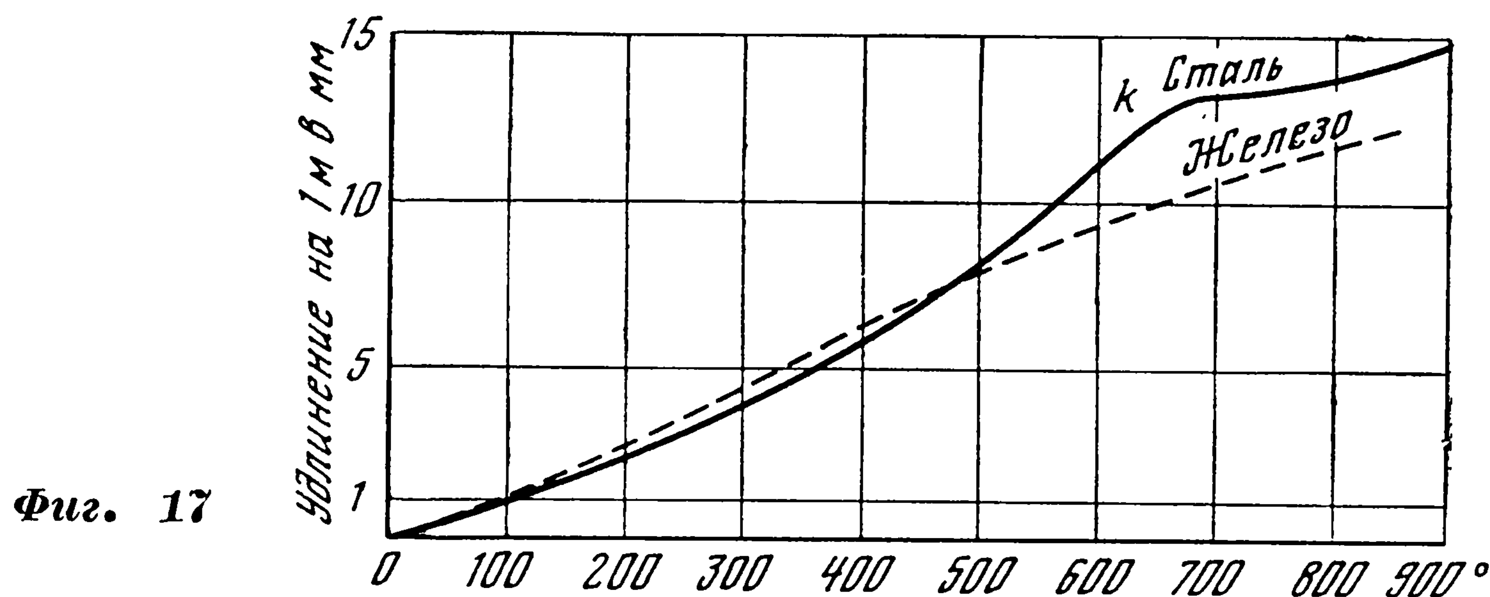
сора Юза, устроившего особые магнитные весы для определения степени магнитной восприимчивости данного куска стали, т. е. степени напряженности частичных сил, чтобы по этому признаку судить о степени закалки стали данного состава или же судить о твердости (количестве углерода) данной незакаленной стали [9*].

Необходимо заметить, что различное отношение железа и стали в закаленном и незакаленном состоянии к магнетизму зависит собственно не от углерода, а от той или другой группировки атомов *железа*; углерод же только способствует тому или другому расположению атомов в частице. Доказательством тому может служить различное отношение к магнетизму железных окислов. Так, обыкновенная окись железа относится совершенно безразлично к магнитным влияниям; магнитная окись (магнитный железняк) уже подчиняется магнитным влияниям, относясь к ним так же, как и железо; наконец, натуральный магнит, как кажется, по составу одинаковый (?) с магнитным железняком, обладает постоянным полюсным магнетизмом и относится активно к магнитной стрелке. Здесь можно сказать, что кислород, входя в том или другом количестве в состав частицы окислов, способствует той или другой группировке атомов железа, обусловливающей различное отношение его к магнетизму.

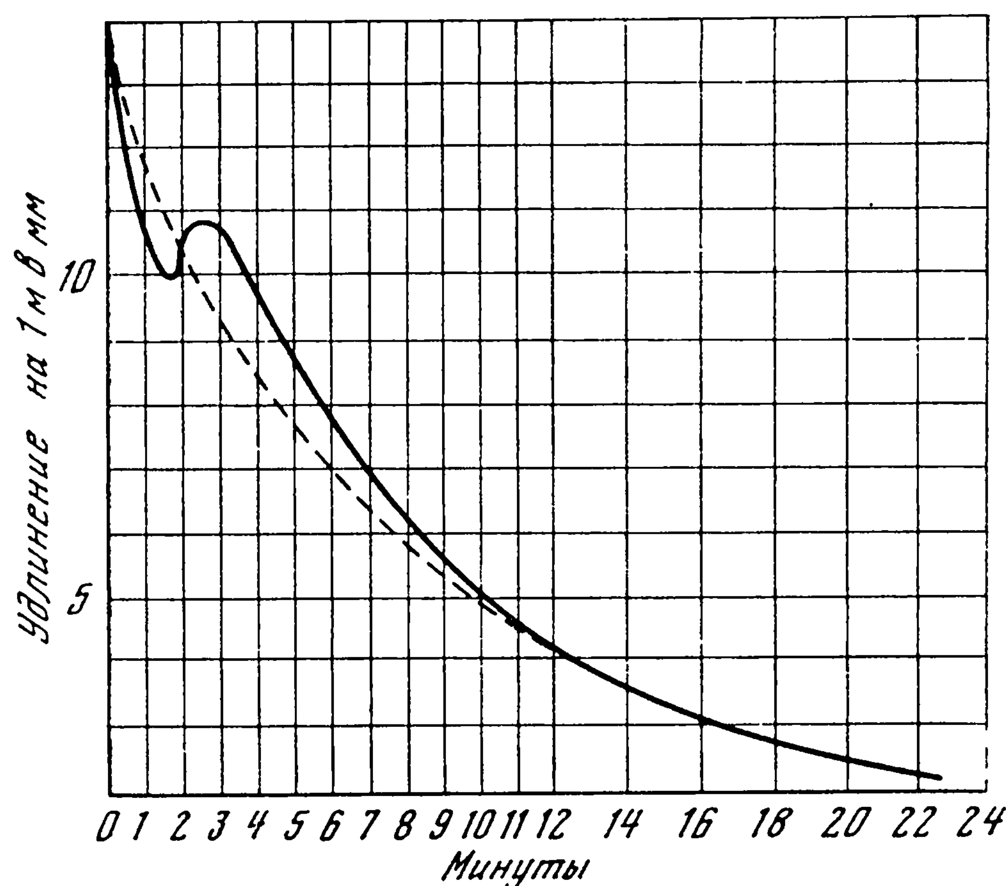
РАСШИРЕНИЕ СТАЛИ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАГРЕВА

Инж. Эврар на заводе Сен-Жак в Монлюсоне занимался исследованием расширения железа и стали при возвышении температуры до красного каления помощью устроенного им особого прибора для измерения удлинений нагреваемых брусков. По его опытам оказалось, что если взять прямоугольные координаты и по оси абсцисс откладывать температуры, а по оси ординат соответствующие удлинения нагреваемого бруска, то для мягкого сварочного железа получается кривая, весьма мало отклоняющаяся от прямой, тогда как для стали, расширяющейся сначала медленнее железа, а затем значительно быстрее, получается кривая с весьма заметным перегибом, соответствующим средним числом удлинению 12,5 *мм* на 1 *м*, как показано на фиг. 17. Из опытов оказалось, что точка *k* соответствует по своему значению точке *a* нашего масштаба.

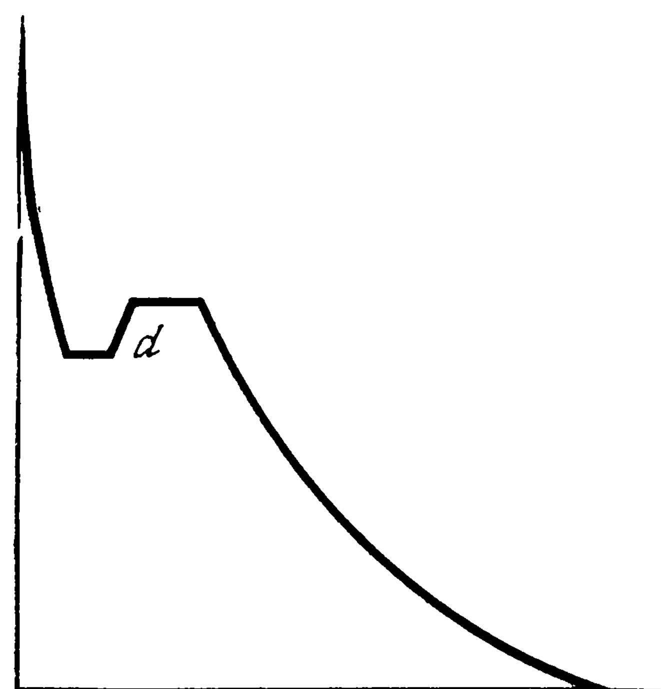
При охлаждении нагретого железа и стали замечается еще более резкое различие в кривых, выражающих зависимость уменьшения длины



Фиг. 17



Фиг. 18

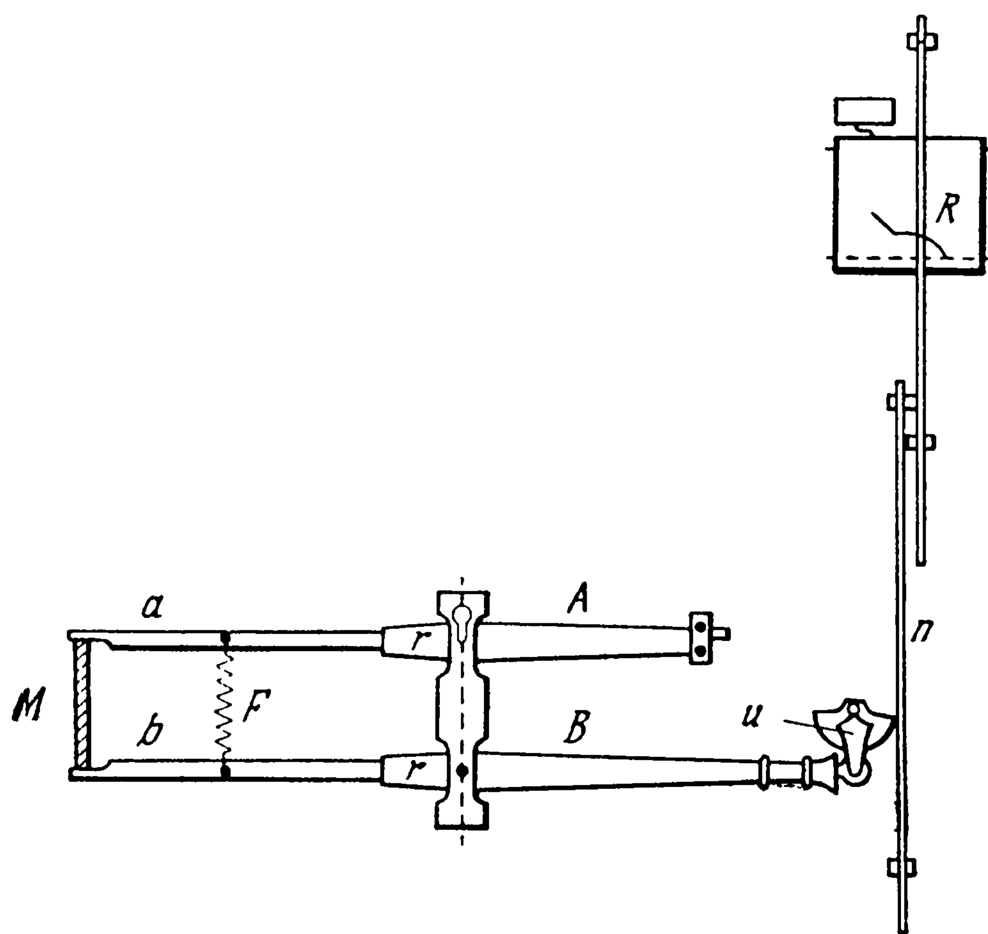


Фиг. 19

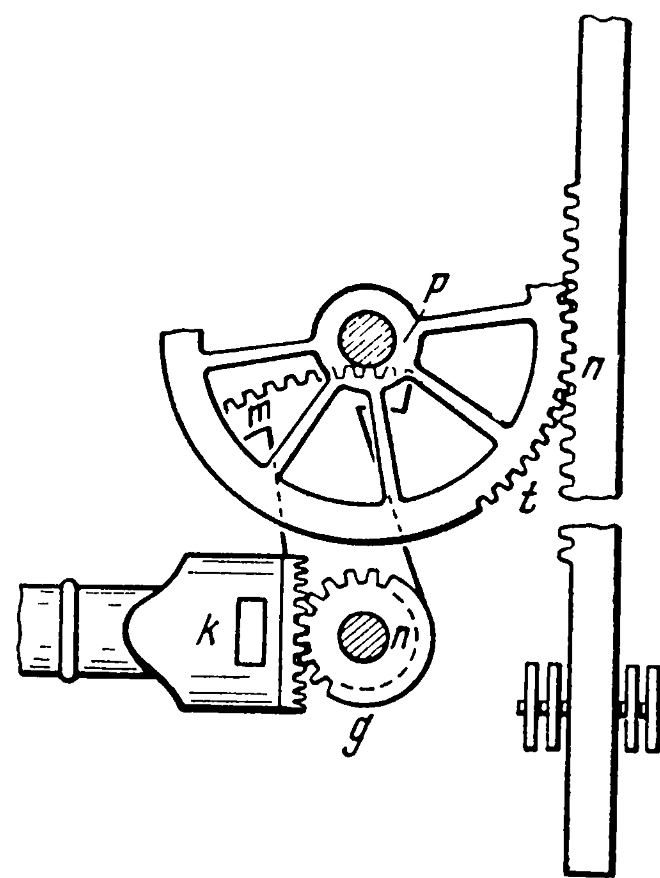
от времени остывания. Откладывая по оси абсцисс время охлаждения бруска в минутах, а по оси ординат изменения длины бруска, получаем для железа гладкую кривую; для стали же кривая получается с двумя перегибами, как показано на фиг. 18. Изображая схематически двойной перегиб кривой охлаждения прямыми линиями на фиг. 19, Эврар отмечает точку *d*, соответствующую точке *a* нашего масштаба; его многочисленные опыты показали, что закалка должна начаться раньше, нежели сталь охладится до точки *d*, так как углерод после того перегруппировывается в состояние, не дающее закалки, что и сопровождается пертурбацией в изменении объема [20], как показывает диаграмма.

Для наблюдения за изменением длины бруска стали или железа при нагревании или охлаждении Эврар устроил следующий прибор: две длинные металлические штанги *A* и *B* (фиг. 20) с фарфоровыми наконечниками *a* и *b* могут вращаться около вертикальных осей *r* и *r*; штанга *A* закреплена и остается неподвижною, а штанга *B* может вращаться свободно около своей оси *r*; между этими штангами помещена спиральная цилиндрическая пружина *F*, сближающая концы *a* и *b* с весьма мягким нажимом. На концах *a* и *b* сделаны полочки, на которые укладывается испытуемый брусок *M*. Концы прибора *a* и *b* вместе с бруском вставляются в печь, температура которой измеряется пирометром. От нагревания брусок расширяется и вращает штангу *B* около точки *r*. Для определения зависимости этого расширения от степени нагрева бруска устроено сле-

[20] Так как при этом перегруппировании, как видно из вышеупомянутых опытов Осмонда, выделяется скрытая теплота, то увеличение объема может быть отчасти отнесено к временному повышению температуры (самораскалению) испытуемого бруска. Заметим при этом, что описанное впервые Бареттом (нами оно было замечено в начале 1867 г. при нагревании стальных болванок для орудий) самораскаление стали, по нашему мнению, недостаточно разъяснено последним.



Фиг. 20



Фиг. 21

дующее приспособление: конец штанги B, как показано на фиг. 21 отдельно, при помощи цапфы k поворачивает зубчатую дугу m, сидящую на угловом рычаге, вращающемся около оси g; дуга m вращает шестеренку p, а с ней и зубчатый сектор t; этот последний приводит в поступательное движение зубчатую рейку n, снабженную на конце штифтом u (фиг. 20), который и чертит кривую на поверхности вращаемого цилиндра R или просто на пластинке, передвигаемой соответственно возвышающейся или понижающейся температуре.

Если определяется зависимость между изменением длины бруска и временем остывания, то пластинка или цилиндр приводятся в движение помощью часового механизма, и таким образом получаются только что рассмотренные нами диаграммы.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА СТАЛИ

Особая комиссия при имп. Русском техническом обществе под председательством генерала Гадолина в 1870 г. занималась исследованием вопроса о влиянии различных способов обработки стали на механические ее качества. Не входя в подробности этих работ, отметим лишь главнейшие цифровые данные, полученные из опытов комиссии [21].

Из литой стальной болванки с содержанием углерода около 0,45% были вырезаны вдоль совершенно симметрично по средней окружности 16 продольных образцов, разделенных на группы, для производства различных способов обработки при помощи нагрева, охлаждения, ковки и

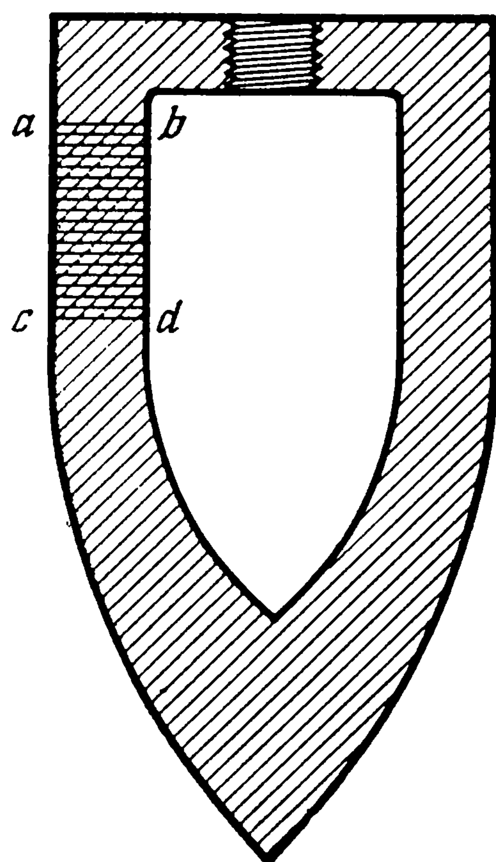
[21] Опыты эти произведены весьма тщательно и заслуживают полного доверия; к сожалению, при нагревах не измерялась температура никаким прибором, а определялась лишь на глаз.

Таблица 2

	Предел упругости, $кГ/см^2$	Сопротивление разрыву, $кГ/см^2$	Удлинение при разрыве, %
1. Литая сталь, вырезки из литой болванки, без всякой предварительной обработки	1325	4637	9
2. Прокованная при высокой температуре и медленно охлажденная	1925	5611	11
3. Только нагретая до температуры, несколько высшей *b* нашего масштаба, и затем охлажденная в воде до красно-бурого каления, потом медленно в золе	2825	6214	13
4. Сильно вытянутая ковкой до бурого каления и затем медленно охлажденная	4550	6149	9,6
5. Нагрета докрасна, вытянута ковкой, быстро охлаждена и затем отпущена	6300	9008	3

отжигания. Выточенные затем из брусков образцы дали следующие результаты при разрыве на прессе (табл. 2)[22].

Испытание более твердой стали, на которой влияние теплоты сказывается значительно сильнее, было произведено на Обуховском заводе по вырезкам из 11-дюймового снаряда завода Круппа *abcd* (фиг. 22) из цилиндрической части стенок. Сталь эта по химическому анализу содержала C=0,79%; Si=0,20%; Mn=0,39%.



Фиг. 22

При разрыве образцов, выточенных из различным образом обработанных вырезков, получились следующие результаты (табл. 3).

Эти цифры ясно показывают, что под влиянием только одного нагревания и охлаждения можно вызвать такое перегруппирование атомов и частиц стали, что новополученный материал становится весьма мало похожим по механическим свойствам на прежний. Вот почему при сравнении качеств стали необходимо иметь в виду, какой обработке был подвергнут испытуемый образец, иначе сравнение и оценка невозможны.

Так как обработка стали, в особенности в деле артиллерийских орудий, почти исключительно происходит помощью *ковки* при высокой температуре, то необходимо определить, какое влияние производит ковка на сталь при высокой температуре.

Прежде полагали, что ковка как прием, производящий сильное давление снаружи, главным образом уплотняет саму сталь и что изменение формы куска под влиянием ковки составляет как бы второстепенное

[22] Числа таблицы представляют средний вывод для двух образцов, одинаковым образом обработанных.

Таблица 3

	Предел упругости, *ат*	Сопротивление разрыву, *ат*	Удлинение, %	Длина испытуемой части, дюймы
1. Вырезка из снаряда Круппа без последующей обработки	7800	10900	5	6,83
2. То же, после отжига (продолжительного)	2200	6800	15,3	4,5
3. Вырезок прокован	3700	8800	10	6
4. То же, затем закален в масле, нагретом до 150 °Ц	8800	13600	4,1	5,8
5. То же в масле, нагретом до 250 °Ц	9200	12900	6	9,2
6. То же в холодной воде и затем отпущен до 300 °Ц	12200	14500	3,7	5,98

обстоятельство, способствующее приданию куску надлежащего вида и размеров. На самом же деле, как показывает изучение свойств, приобретаемых сталью после ковки, уплотнение сплошного материала стали не имеет места. Доказательством этому может служить сравнение удельного веса стали до ковки и после нее. Многочисленные исследования показывают, что удельный вес плотного куска стали не только не увеличивается под влиянием ковки, но иногда даже уменьшается, и что наибольшей плотностью, соответственно своему составу, сталь обладает при условиях лишь плотной беспузыристой отливки и затем свободного стягивания при медленном остывании слитка; эти условия, как мы видели раньше при изучении структуры, благоприятствуют развитию крупнокристаллического сложения стали.

Ввиду этого необходимо установить факт *несжимаемости* стали в раскаленном состоянии, уподобляющий ее жидкостям. Но тогда может явиться вопрос, отчего сталь не прямо отливается в формы надлежащего вида и размеров, что упростило бы и облегчило приготовление из нее изделий? Далее увидим, что вполне плотная, безраковистая отливка стали непосредственно в те формы, которые отвечают требуемым фигурам и размерам изделий, очень затруднительна и что обстоятельства, сопровождающие затвердевание отлитой стали, обусловливают получение неплотных, пористых слитков и приводят к необходимости прибегать к пособию ковки не только как к средству для изменения *формы слитка*, но и как к средству для его *уплотнения*.

Тем не менее из вышеприведенных данных видно, что ковка возвышает механические качества стали; так, литой кусок, имеющий предел упругости около 2000 *ат*, сопротивление разрыву около 4000 *ат* и удлинение около 6%, после ковки будет приблизительно иметь: предел упругости 3000 *ат*, сопротивление разрыву около 6000 *ат* и удлинение 15—18%. С другой стороны, те же данные показывают, что кусок литой стали и без ковки может принять такие же свойства, как и прокованный, если только он не имеет пустот, обусловливаемых отливкой.

В самом деле, если один кусок плотной литой стали нагреть до некоторой температуры t между точками b и k нашей шкалы (фиг. 9) и затем ковать его под молотом до тех пор, пока температура его понизится до t^1, и затем оставить охлаждаться при некоторых известных условиях, а другой кусок той же литой стали просто нагреть до температуры t^1 и затем оставить охлаждаться в тех же условиях, как и предыдущий кусок после ковки, то мы заметим, во-первых, что механические качества обоих кусков значительно изменились против первоначальных; во-вторых, новые качества обоих кусков почти совсем одинаковы. Из сличения изломов этих кусков мы заметим, что и сложение их также одинаково.

Такие же результаты получаются и при прокатке стали в вальцах.

Отсюда видно, что механическая обработка стали при температурах, превышающих точку b, производя энергические перемещения частиц обрабатываемой массы, мешает той группировке частиц в кристаллическое сложение, какая происходит при спокойном понижении температуры до предела b; таким образом, частицы стали во время обработки, за невозможностью группироваться, остаются по всем направлениям на одинаковых взаимных расстояниях и сложение стали поддерживается аморфным. Следовательно, качества прокованной или прокатанной при высокой температуре стали будут зависеть лишь от температуры, при которой окончена обработка, и от условий дальнейшего затем охлаждения, если только при самой отливке сталь получилась совершенно плотной, без всяких пустот. При таких условиях механическая обработка стали при высокой температуре сводится к обработке ее лишь одной теплотой, совместно с изменением формы и размеров взятого куска.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ (ТЕМПЕРАТУРЫ) НАГРЕВА СТАЛИ

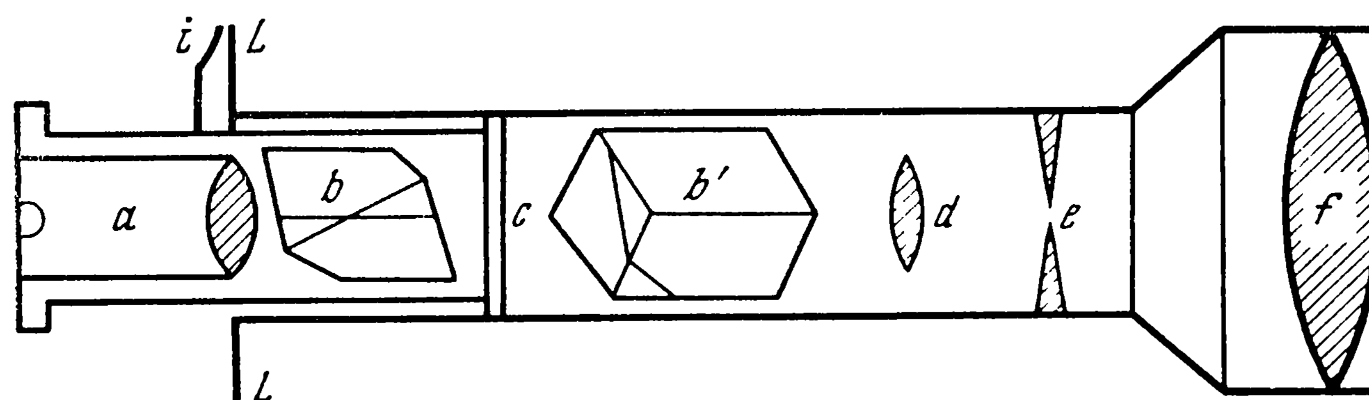
Из предыдущего видна необходимость по возможности точного определения степени нагрева стали при ее обработке, так как иначе невозможно вести правильное производство на сталелитейных заводах.

В большинстве случаев о степени нагрева судят непосредственно на глаз, по цвету и яркости каления; но такое определение весьма далеко от точного, так как находится в большой зависимости от субъективности наблюдателя и от условий окружающей обстановки.

Из инструментов, могущих служить для более или менее точного определения степени нагрева при заводских работах, остановимся на некоторых приборах, уже получивших применение в сталелитейном производстве при изготовлении стальных орудий.

В основу устройства таких приборов принимаются различные свойства тел, находящихся в раскаленном состоянии: увеличение объема, испускание света, изменение проводимости электричества и т. п. Так, например, известно, что чем выше температура накаленного предмета, тем ярче испускаемый им свет; следовательно, по яркости света, испускаемого раскаленным телом, можно судить о степени его нагрева, что и принимается в основание устройства фотометрических пирометров. Но так

как наблюдаемая яркость источника света зависит в сильной степени от расстояния, с которого наблюдается светящийся предмет, то пользование такими пирометрами на заводах сопряжено со значительными неудобствами, отчего они имеют весьма ограниченное применение. К числу весьма удобных заводских пирометров относится световой прибор, основанный на явлении поляризации, устроенный инж. Мезюре и Нуэлем. Устройство прибора в общих чертах состоит в следующем. В медную



Фиг. 23

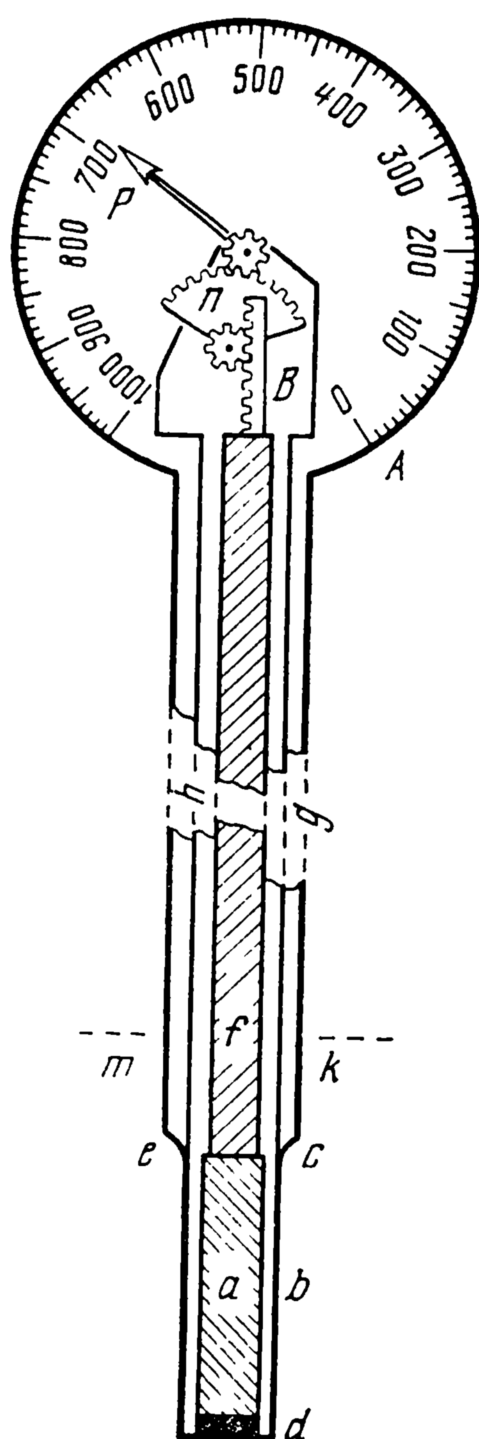
трубку вставлены: обыкновенный окуляр *a* (фиг. 23); *b* и *b′* — две призмы Николя, из них *b* называется анализатором, *b′* — поляризатором; между призмами помещена кварцевая пластинка *c*, толщиной около 10 *мм*, шлифованная нормально к главной оси кристалла; *d* — собирательное стекло; *e* — диафрагма и *f* — объектив; *L* — вращающийся вместе с призмой *b* диск, разделенный на градусы; *i* — постоянная стрелка-указатель.

Если пропустить простой цветной (монохроматический) луч света через две поляризационные призмы Николя, плоскости поляризации которых поставлены под прямым углом между собой, то свет не проходит через вторую призму, если же между призмами вставить кварцевую пластинку, отклоняющую плоскость поляризации на некоторый угол, то через вторую призму уже пройдет некоторое количество света известной силы и того же цвета. При этом замечается (как показал Био), что плоскости поляризации не для всех цветных лучей одинаково отклоняются кварцевой пластинкой (круговая поляризация) и что угол, составляемый новой повернутой плоскостью поляризации с первоначальной, прямо пропорционален толщине кварцевой пластинки и обратно пропорционален (почти) квадрату длины световой волны.

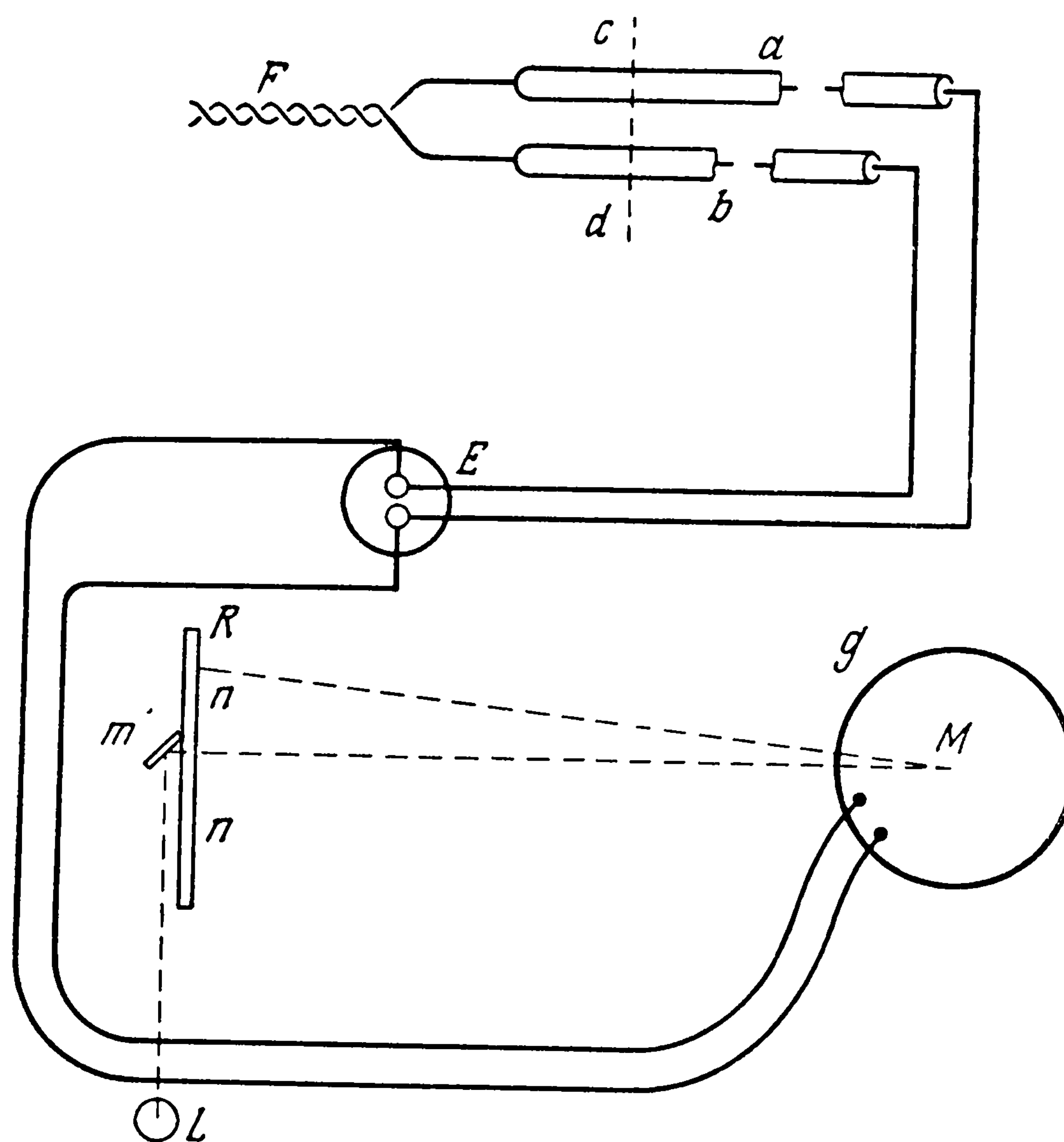
Если обозначим через α угол вращения плоскости поляризации кварцевой пластинкой данной толщины для какого-либо определенного цветового луча и через ω угол, составляемый плоскостью главного сечения призмы *b* с первоначальной плоскостью поляризации, то яркость или сила света проходящего луча выразится через $\sin^2(\alpha - \omega)$.

Так как угол α изменяется непрерывно вместе с изменением длины волны, то изменение угла ω производит соответственное изменение яркости или силы луча света, проходящего через призму *b*.

Накаленная до *темно-красного* цвета сталь испускает только простые красные лучи; по мере возвышения температуры каления вместе с возрастанием яркости красных лучей к ним примешиваются постепенно и прочие цветовые лучи спектра: оранжевые, желтые, зеленые и синие. При наблюдении раскаленного предмета помощью описанного прибора,



Фиг. 24

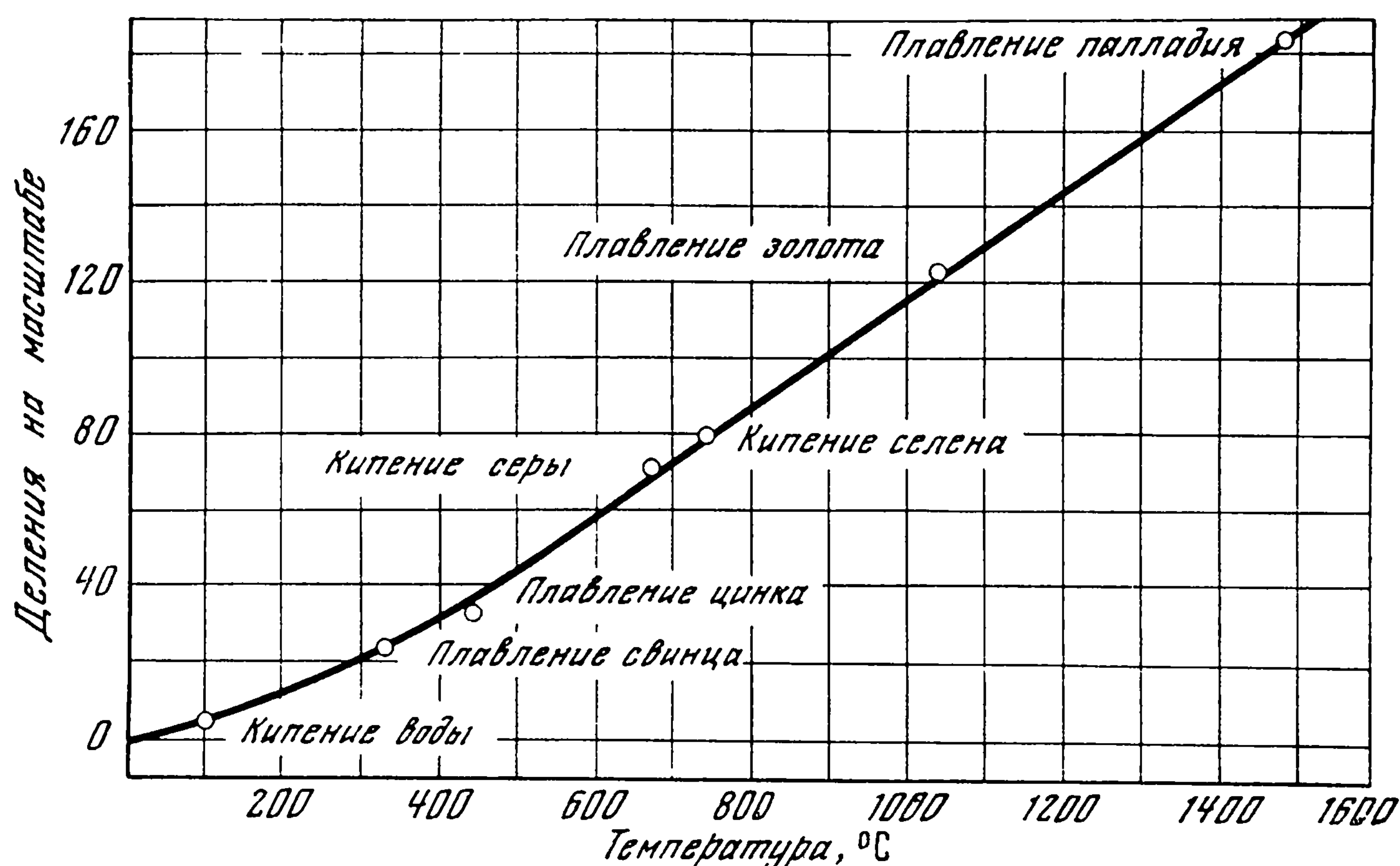


Фиг. 25

с изменением относительного количества различных цветовых (простых) лучей вместе с температурой каления, для одного и того же поворота призмы *b*, т. е. для одного и того же угла ω, сложный оттенок (колер) видимых лучей будет изменяться, и наоборот, для получения одного и того же оттенка при разных температурах необходимо соответственно вращать призму *b*, т. е. изменять угол ω. Таким образом, угол ω может быть мерилом температур каления, если прибор всегда приводить к одному и тому же оттенку. Таким характеристическим оттенком, по указанию изобретателей прибора, может служить лучше других грязно-лимонный цвет как переходный между красным и зеленым, хорошо улавливаемый глазом при повороте призмы *b*.

Как угол вращения призмы, так и чистота оттенка зависит от толщины кварцевой пластинки. Для толщины в 11 *мм* получаются следующие углы поворота призмы при различных температурах:

900°,	вишнево-красное каление,	угол	40°
1000°,	светло-вишневое каление,	»	46°
1100°,	оранжевое каление,	»	52°
1200°,	светло-оранжевое каление,	»	57°
1300°	ярко-оранжевое	»	62°
1400°	и	»	66°
1500°	желтое каление	»	69°



Фиг. 26

Для температур, низших 900°, необходимо вставлять увеличенный объектив для увеличения количества света.

Лет 20 тому назад вошел в заводскую практику графитовый пирометр Штейнле и Гартунга, основанный на разности расширений при нагревании графита и железа. Устройство этого пирометра очень просто, он сравнительно весьма дешев и не требует особенных предосторожностей при употреблении, а потому может быть вверен непосредственно толковому рабочему. Прибор этот в общих чертах представлен на фиг. 24. Действующая часть прибора состоит из графитового цилиндра *a*, помещенного в железном цилиндре (трубке) *b*; высота обоих цилиндров внутри равна *dc*. Продолжением трубки *b* служит трубка *h*, на верхнем конце которой находится штатив *B* с передаточным механизмом к стрелке *p*; на графитовый цилиндр опирается надавливаемый сверху легкой пружиной железный стержень *f*, на верхнем конце которого укреплена зубчатая рейка *n*, сцепляющаяся с передаточным механизмом стрелки *p*. Наружная железная трубка *g*, приваренная к внутренней трубке *h* у верхнего конца цилиндра *b* по окружности *ce*, служит кожухом для трубки *h* и стержня *f*, а также поддержкой для коробки *A* с циферблатом. Для измерения температуры нижний конец прибора, приблизительно до линии *mk*, вставляется в печь или погружается в расплавленный металл; разность удлинений цилиндра *a* и *b* при нагревании вызывает относительное движение рейки *n* и сцепляющегося с ней механизма *B*, а следовательно, и вращение стрелки *p*, указывающей температуру в градусах по делениям циферблата, калиброванного по воздушному пирометру.

Недавно проф. Ле Шателье устроил весьма точный и притом удобный для заводской практики термоэлектрический пирометр, представленный схематически на фиг. 25. Термоэлектрическая пара состоит из двух проволок: одна протянута из чистой платины, а другая из сплава платины с 10% родия; для образования пары нет необходимости сваривать или спаивать проволоки — достаточно их скрутить вместе, как показано

на рисунке. От пары проволоки проходят через фарфоровые трубки (чубуки) a и b, затем концы их, припаянные к проводникам из медной проволоки, погружены в пробирки со спиртом, опущенные в стакан E с тающим снегом, для поддержания концов проволок при постоянной и всегда одинаковой температуре. При нагревании пары F, которая вставляется в печь приблизительно до линии cd, электрический ток проходит по замкнутой цепи, в которую вводится чувствительный гальванометр g (Депре и Дарсонваля) с зеркалом M, вращающимся около вертикальной оси вместе с отклонением бобинки гальванометра. Для возможно точного измерения этих отклонений, почти пропорциональных температуре нагрева пары, наблюдается отклонение луча от лампы L, отраженного зеркалом m [23] на зеркало M, а этим последним на масштаб R, деления которого n, n служат для калибровки пирометра. Зависимость между указаниями масштаба и температурами видна на фиг. 26 [24].

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЕЗ УЧАСТИЯ ТЕПЛОТЫ И ДЕЙСТВИЕ ПОВТОРИТЕЛЬНЫХ УСИЛИЙ

Механическая обработка без участия теплоты заключает в себе протяжку в проволоку и наклепку в холодном виде под молотом и в вальцах. Этими видами обработки достигается увеличение твердости, уменьшение удельного веса и, следовательно, увеличение объема, увеличение предела упругости и уменьшение растяжимости. Изменения свойств стали при холодной обработке обусловливаются насильственным перемещением частиц за предел упругости, а потому рассмотрим подробное влияние растяжения и сжатия стали помощью усилий, несколько превышающих первоначальный предел упругости, и проследим при этом значение *времени отдыха* бруска, заимствуя данные и выводы из опытов Баушингера над действием повторительных нагрузок.

Опыты показывают, что через растяжение бруска нагрузкой, несколько превышающей *первоначальный* предел упругости, предел этот возвышается не только во время самого действия такой нагрузки, но и после освобождения из-под нее, во время следующего затем продолжительного покоя бруска, при этом предел упругости может возрасти свыше употребленной для растяжения нагрузки.

Однако необходимо условиться в самом определении понятия *предела упругости*. Пределом упругости принято называть такое наибольшее усилие или нагрузку, по удалении которой произведенное нагрузкой изменение длины бруска совершенно исчезает и брусок принимает вполне первоначальные размеры.

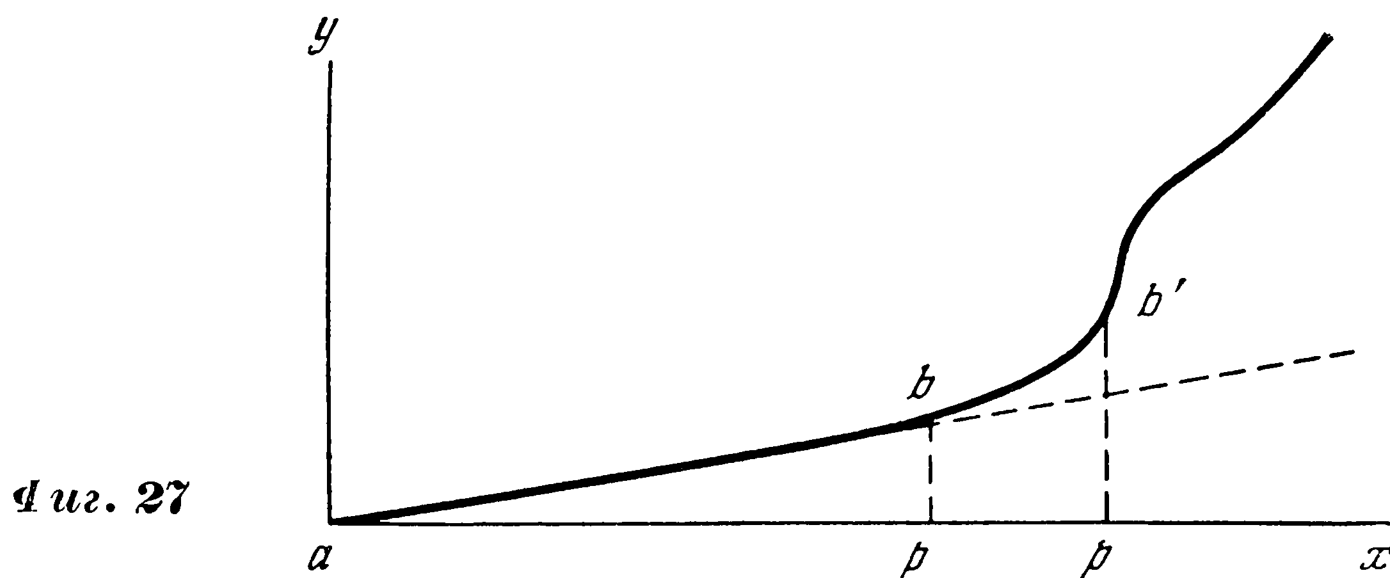
Такое определение оказывается не совсем точным, ибо при употреблении очень чувствительных мерительных приборов [25] такого возвращения

[23] Или же непосредственно от лампы на зеркало M направляется пучок параллельных лучей помощью двояковыпуклого стекла.

[24] Кроме вышеописанных пирометров, есть еще несколько других, предложенных также для заводских целей, но они не получили широкого применения в практике.

[25] Зеркальный прибор Баушингера позволяет измерять изменения длины с точностью до 0,0001 *мм*.

к первоначальным размерам не замечается даже после сравнительно незначительных нагрузок, с возрастанием же последних обыкновенно возрастают и постоянные, остающиеся изменения размеров бруска. Только при инструментальной и вообще очень твердой стали остающиеся изменения вначале так малы, что даже очень чувствительные приборы не позволяют их измерять. Поэтому некоторые ученые предложили другое определение предела упругости.



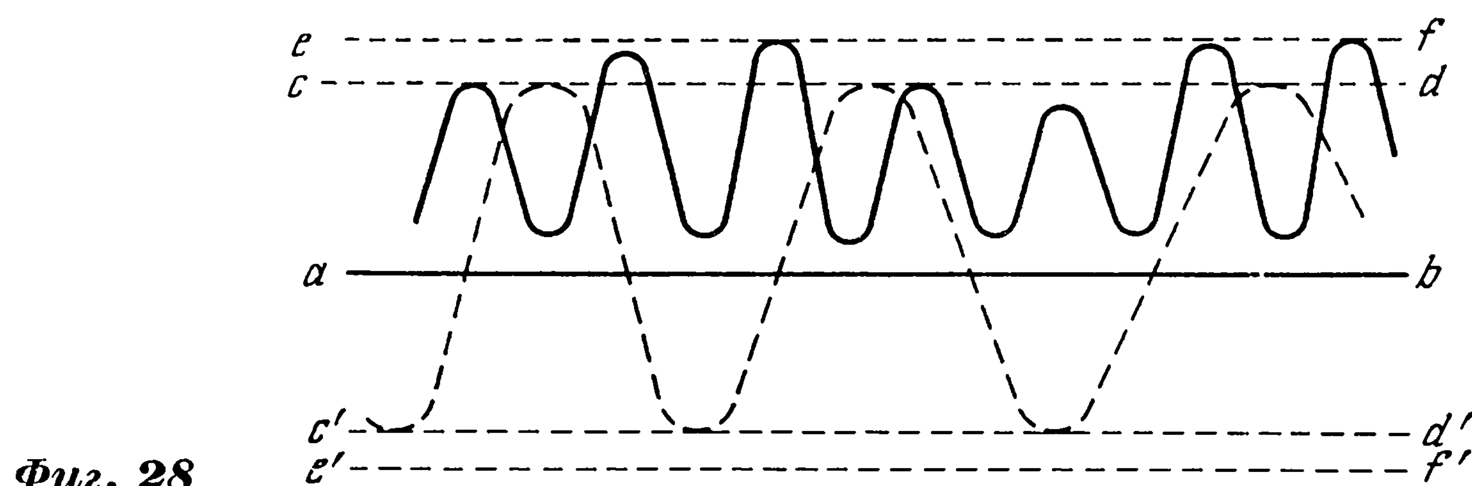
Фиг. 27

Весьма точные мерительные приборы показывают, что все известные более или менее упругие тела, как, например, железо, сталь, дерево и т. п., до известного предела нагрузок строго следуют закону пропорциональности возрастания удлинений или сжатий вместе с возрастением нагрузки; этот предел и называют *пределом упругости*, *или пределом пропорциональности*.

Зависимость между пропорциональными изменениями длины и нагрузок выражается графически прямой линией (фиг. 27) ab; за пределом пропорциональности удлинения или сжатия возрастают быстрее, нежели нагрузка, и прямая переходит в касающуюся к ней кривую, а потому этот переход может быть довольно хорошо заметен. Точность определения этого предела (точки b касания) зависит, конечно, от чувствительности приборов. Но есть другой признак, более очевидный для нахождения этого предела, а именно: остающиеся изменения длины до этого предела очень малы и растут весьма постепенно с увеличением нагрузок, — за этим пределом остающиеся изменения вдруг становятся значительными и весьма заметными; кроме того, при *повторительном действии* одной и той же нагрузки, не превышающей предела пропорциональности, как полные, так и остающиеся изменения длины брусков всегда оказываются одни и те же; при грузах же, превышающих этот предел, каждое повторение нагрузки вызывает постепенное увеличение как полных, так и остающихся после отнятия груза изменений длины. Нагрузки в пределах пропорциональности вызывают тотчас же соответственные полные изменения длины, которые остаются постоянными во все время действия нагрузки, тогда как за пределом пропорциональности полные изменения длины происходят не сразу, а в течение некоторого, более или менее продолжительного, времени.

При таком определении предела упругости (предела пропорциональности) некоторые тела, как, например, чугун и камни, не имеют предела упругости, так как с самого начала у них нет пропорциональности между нагрузками и производными удлинениями или сжатиями.

Возвратясь опять к опытам Баушингера, положим, что известный сорт стали имеет начальный предел упругости в 2000 *ат* и пусть искусственным путем он может быть увеличен не более как до 2150 *ат*; тогда сила, возвы-



Фиг. 28

шающая предел упругости, должна заключаться между этими пределами, так, например, равна 2100 или 2140 *ат*. Отсюда легко видеть, какое влияние имеют повторительные нагрузки на свойства бруска. Если сталь будет подвергнута повторительной нагрузке, хотя и большей против первоначального предела упругости ее, но не превышающей крайней величины возможного искусственного увеличения предела упругости, то начальный предел упругости увеличивается; если же нагрузка будет больше величины возможного искусственного увеличения предела упругости, то начальный предел упругости уменьшается, остающиеся изменения длины постоянно увеличиваются, и брусок после более или менее частого повторения такой нагрузки непременно разрушается. Таким образом, вообще, если в бруске, подвергаемом повторительным нагрузкам, колеблющимся между двумя пределами, из которых, по крайней мере, высший превосходит предел упругости материала, и если при этом первоначальный предел упругости понижается или остается без изменений, или же увеличивается, не достигая высшего предела повторительной нагрузки, то непременным следствием частого повторения таких нагружений должен быть разрыв или раздробление бруска. Если же колебание нагрузок заключается в пределах упругости (пропорциональности), то при каком угодно числе колебаний разрушения не происходит, и материал служит неопределенное время. Графически это можно выразить так (фиг. 28): линия *ab* соответствует нулевой нагрузке, *cd* — первоначальному пределу упругости растяжения или сжатия, *ef* — величине возможного увеличения его искусственными мерами; пока колебания в нагрузке, как показано волнистой линией, не выходят за прямую *ef*, сталь служит неопределенное время.

При некоторых материалах, именно при сварочном и литом железе и сравнительно мягких сортах стали, наблюдается еще замечательное явление: при увеличении нагрузок за предел упругости в равных интер-

валах сначала постепенно увеличивающиеся изменения длины вдруг начинают быстро и значительно возрастать; диаграмма зависимости между удлинениями и нагрузками получает крутой поворот (точка b' фиг. 27); наступает период *растяжимости* (или сжимаемости при сжатии); точку b', в которой начинается такой кругой перегиб, можно назвать началом *растяжимости* (соответственно *сжимаемости*) [10*].

Период растяжимости под влиянием одного и того же груза длится в продолжение нескольких часов, иногда же продолжается несколько дней, пока, наконец, происшедшие изменения длины сделаются постоянными. По отнятии груза остающиеся изменения оказываются весьма значительными, хотя под влиянием упругого воздействия они несколько уменьшаются в продолжение некоторого времени, иногда нескольких дней. Начало растяжимости (или сжимаемости) трудно определить точно: иногда оно бывает довольно резко и отчетливо, иногда весьма постепенно и неопределенно; при очень твердой стали, равно как при бронзе, латуни, дереве, такого явления даже вовсе не замечается, тогда как при очень мягком литом железе оно весьма заметно и притом начало его почти совпадает с пределом упругости.

Начало растяжимости при повторении нагрузок всегда повышается до величины нагрузки, посредством которой перед тем произведено предшествующее растяжение бруска. По снятии нагрузки повышение это продолжается хотя медленно, но еще заметно, в течение целого дня, оканчивается же по прошествии нескольких недель, месяцев, может быть даже целого года. Непосредственно после растяжения бруска нагрузкой P, отвечающей началу растяжимости, *предел упругости р* (пропорциональности) весьма сильно понижается против первоначальной величины, падая иногда до нуля, во время же продолжительного покоя бруска по отнятии груза предел упругости повышается и через несколько дней достигает величины нагрузки, произведшей растяжение, затем в течение продолжительного времени, может быть нескольких лет, еще замечается некоторое дальнейшее возрастание этого предела.

Коэффициент (или модуль) упругости в большинстве случаев при этом также сначала уменьшается, с течением же времени возрастает вместе с пределом упругости и также достигает высшей величины против первоначальной.

Таким образом, от растяжения бруска нагрузками, заключающимися между пределом упругости и началом растяжимости, предел упругости непосредственно тотчас же возрастает против первоначальной величины и тем более, чем ближе была нагрузка к началу растяжимости. При превышении же этого предела нагрузки коэффициент упругости тотчас же весьма сильно понижается, как сказано выше.

На окончательные результаты *при медленном растяжении* бруска на разрывном прессе, т. е. на временное (абсолютное) сопротивление и окончательное удлинение при разрыве, все эти манипуляции не оказывают никакого влияния.

Нагревание стального бруска от 450° до температуры, несколько низшей a нашей шкалы, а затём быстрое охлаждение его понижают предел

упругости и начало растяжимости, в особенности первый, и тем более, чем выше (ближе к a) был нагрев; при этом, подобно действию сильного растяжения бруска, предел упругости иногда понижается до нуля. При *медленном* охлаждении после такого нагрева понижение не так сильно, как при *быстром*; при медленном охлаждении, однако, можно достигнуть и больших понижений, если доводить нагрев до температуры выше b нашей шкалы (фиг. 9).

Пониженные посредством описанных приемов нагревания предел упругости и начало растяжимости, в противоположность пониженным через усиленное растяжение, *уже* не возвышаются даже и при очень продолжительном отдыхе.

Если брусок подвергнут растягивающей нагрузке, несколько превышающей предел упругости растяжения, и этот последний возрастает, то предел упругости сжатия значительно понижается, и наоборот: если при сжатии бруска несколько за предел упругости этот последний возрастет, то тотчас же понижается предел упругости растяжения; такое понижение доходит даже до нуля, причем дальнейшее спокойное состояние бруска без нагрузок не изменяет происшедших понижений пределов упругости.

Пониженный таким образом предел упругости может быть опять поднят *последовательно возрастающими* попеременными нагрузками на растяжение и сжатие, однако такое поднятие далеко не достигает первоначального предела упругости. Часто повторяющимися нагрузками, низший предел которых нуль, а высший предел близок или же несколько превосходит предел упругости, этот последний повышается, не переходя, однако, некоторой известной величины; если большая из повторительных нагрузок не превышает этой последней величины, то от повторения колебаний несколько десятков миллионов раз разрушение не произойдет, если же превышает, то разрушение наступит после более или менее ограниченного числа колебаний. Если колебание нагрузок переходит в обе стороны, т. е. в растяжение и в сжатие, то величины нагрузок не должны превосходить соответствующих первоначальных пределов упругости, если сталь должна служить неопределенное время без разрушения.

Все вышеуказанные случаи неопределенно долгого сопротивления повторительным нагрузкам имеют место *лишь тогда*, когда в литом материале *нет пороков*, так как опыты показали, что весьма незначительные пороки в литой стали или в литом железе, на первых порах едва заметные, при повторении нагрузок ведут к скорому разрушению [26]. Замечательно, что для сварочного железа обстоятельство это не имеет места.

Далее, из опытов Баушингера оказывается, что:

1) сопротивление разрыву при спокойной нагрузке не изменяется от большого числа предшествовавших повторительных нагрузок;

2) миллионы раз повторенные нагрузки не оказывают никакого заметного влияния на структуру железа и стали.

---

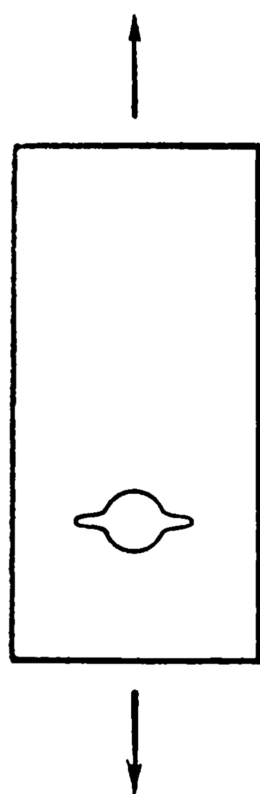
[26] Вот почему в стенках стальных орудий и скрепляющих колец не должно быть допускаемо никаких пороков.

ЯВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ОБРАБОТКУ СТАЛИ В ХОЛОДНОМ ВИДЕ

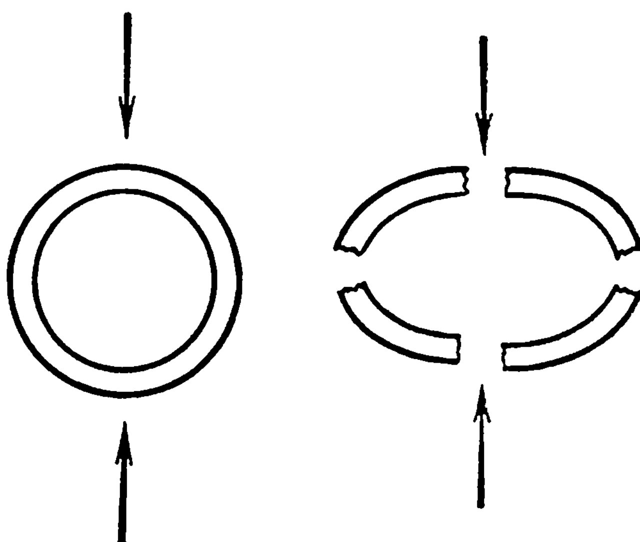
В конце 60-х годов, когда приготовление литой стали дешевыми способами и в большом размере позволило употреблять литой металл (который, вообще говоря, был лучше сварочного по механическим качествам) на различные потребности промышленности и военного дела, сталь была употреблена, между прочим, и для постройки морских судов. Стальной остов выходил при данной прочности легче железного, потому что стальные листы могут быть взяты на 20—25% тоньше железных (сварочных) с такой же гарантией прочности. Облегчение особенно важно для военных судов, несущих тяжелую броню; экономия в весе остова могла быть утилизирована для усиления брони и артиллерии.

Одним из первых государств, применивших сталь для военного судостроения, была Франция: в 1873 г. там были заложены первые стальные клипера. Имея в виду новизну строительного материала, организовано было строгое наблюдение за постройкой, для чего правительством был назначен инж. Барба; он особенно изучал влияние холодной обработки стали ножницами и комаром (при пробивке дыр), причем заметил уменьшение тягучести листовой литой стали, подвергавшейся такой обработке. Из опытов Барба оказалось, что если непосредственно после продавливания комаром отверстия подвергнуть кусок листа растяжению на прессе, то очень скоро проявляются рванины около краев отверстия (фиг. 29); если вырезать резцом тонкое кольцо вокруг пробитого комаром отверстия, то это кольцо представляет очень хрупкий материал и при сдавливании усилием, лежащим в его плоскости, разламывается на четыре части без предварительного изгибания (фиг. 30). По удалении такого нетягучего слоя с внутренней поверхности пробитого отверстия подвергнутый растяжению на прессе продырявленный лист тянется во всех точках одинаково и по всей площади, не давая никаких надрывов по краям отверстия, которое принимает вытянутую эллиптическую форму. Ширина такого кольцевого слоя дурного материала оказалась меньше 1 *мм*. Таким образом, опытами инж. Барба было установлено, что можно смело, не нарушая прочности листа, продавить отверстие несколько меньшего диаметра и затем рассверлить его до надлежащего диаметра сверлом или разверткой. С тех пор это правило было применено и в других государствах; в России было принято продавленные отверстия рассверливать не менее как на $^1/_{16}$ дюйма.

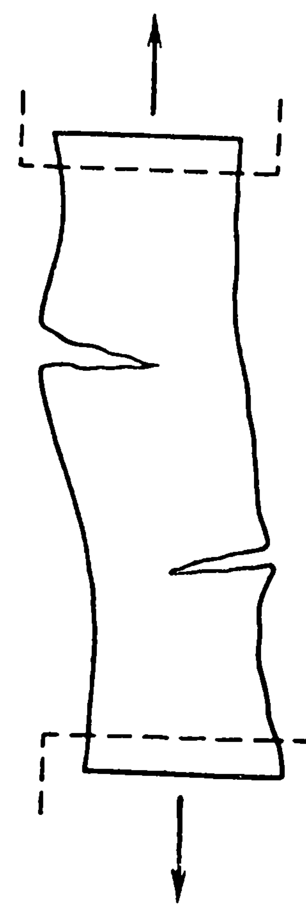
Обрезка ножницами также уменьшает тягучесть кромок вырезанной пластинки и причиняет преждевременные разрывы краев ее при растяжении на прессе, как показывает фиг. 31. Если пластинку, вырезанную ножницами, отжечь (т. е. нагреть до температуры темно-красного каления и медленно охладить), то вся порча от ножниц уничтожается. При разрыве на прессе отожженной пластинки литого железа происходит уменьшение площади поперечного сечения в месте разрыва до 50% и даже более (фиг. 32), а относительное удлинение иногда достигает 36%. Опыт показал, что если снять резцом по обрезу ножниц кромку шириной в 2 *мм*,



Фиг. 29



Фиг. 30



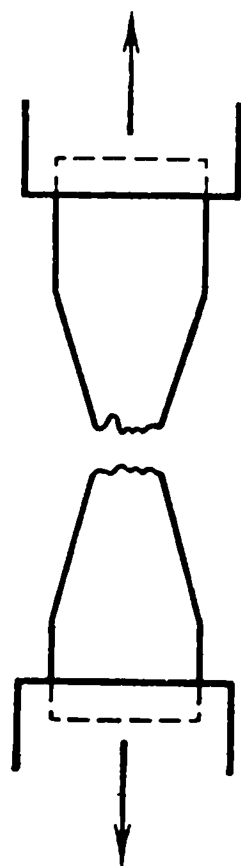
Фиг. 31

подобно тому, как это делал Барба с кромкой продавленного отверстия, то тягучесть кромок возвращается, хотя в несколько меньшей степени, нежели это достигается отжиганием, так что при разрыве на прессе удлинение вместо 36% выходит приблизительно лишь 32%.

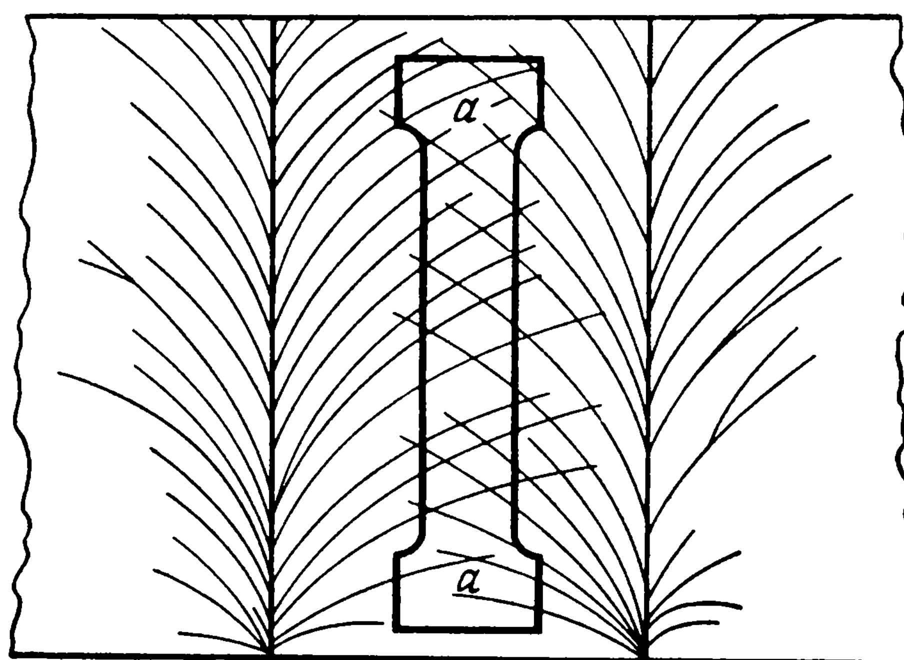
Следовательно, этим способом материал исправляется не так радикально, как отжигом, из чего видно, что район порчи металла не так узко ограничен, чтобы можно было все исправить только отрезанием тонкой кромки. В самом деле, если резать ножницами лист, покрытый после прокатки тонким слоем окалины, то во время резки ясно обозначаются на поверхности листа идущие в обе стороны от линии реза кривые лучи, по которым окалина отскакивает; лучи эти гуще близ самого реза (фиг. 33). От другого реза на том же листе лучи появляются независимо от первых, причем точки их взаимного пересечения явственно обозначаются; лучи второго реза иногда прерываются при пересечении с первыми. При продавливании отверстия с нижней стороны листа вокруг отверстия также появляются кривые лучи, напоминающие по виду разверзающиеся круги, обращенные выпуклостями в обе стороны, так что получается звездообразная фигура (см. фиг. 12 на стр. 63); лучи эти у самой кромки отверстия сидят так густо, что совершенно спутываются, образуя матовую поверхность.

Лучи от ножниц тем чище и правильнее, чем длиннее рез ножниц зараз; они идут тем дальше (на Обуховском заводе при толщине листа $1^1/_2$ дюйма получались лучи до 20 и более дюймов длиной), чем толще лист. Из части листа между двумя резами, исчерченной лучами в двух направлениях, был вырезан пилой пробный брусок *a* (фиг. 33).

Сошлифовав совершенно рисунок лучей, брусок растянули на прессе, и когда перейден был предел упругости, то вся сетка линий снова выступила на поверхности: линии сохранили гладкую шлифованную поверхность, а промежутки сделались матовыми. Это показывает, что по линиям



Фиг. 32



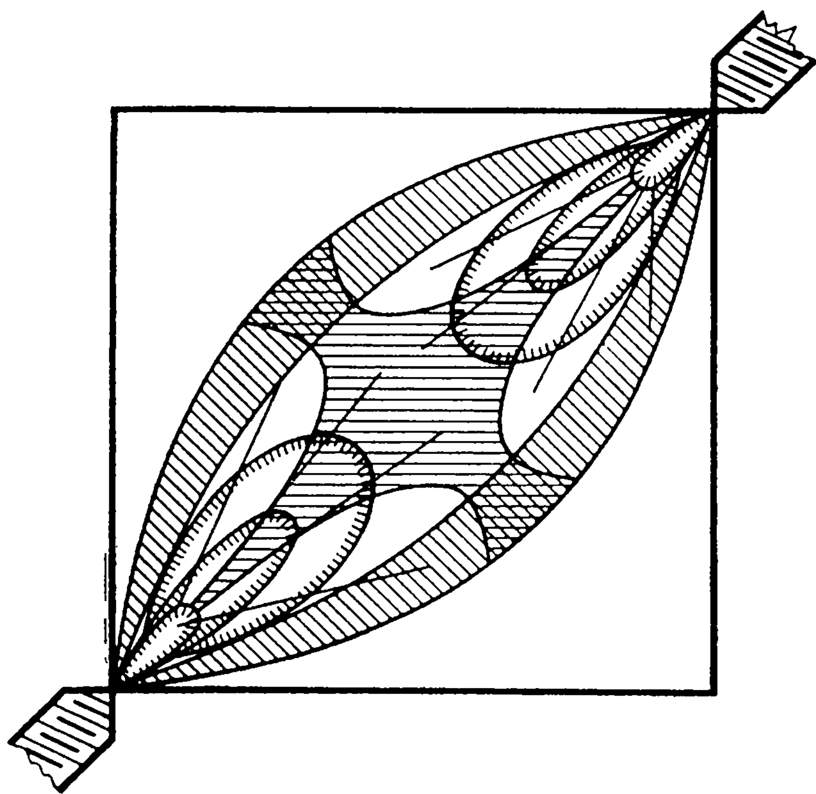
Фиг. 33

материал обладает иными качествами, меньше тянется и еще не получает остающихся удлинений, в то время как остальной материал уже растягивается за предел упругости. Если продолжать растягивать брусок еще далее, то и линии начинают тянуться, и дальше все идет обыкновенным порядком. Повторение подобного опыта с образцом, вырезанным из листа, в котором были продавлены отверстия с появлением кривых лучей, дало такие же результаты.

Если кружок из толстого листа или пластинки мягкой литой стали или литого железа поставить ребром на наковальню и ударом молота несколько примять его, то на боковых поверхностях от обеих точек смятия появятся лучами кривые линии (фиг. 13 на стр. 64), вообще обладающие такими же свойствами, что и линии от продавливания и обрезки.

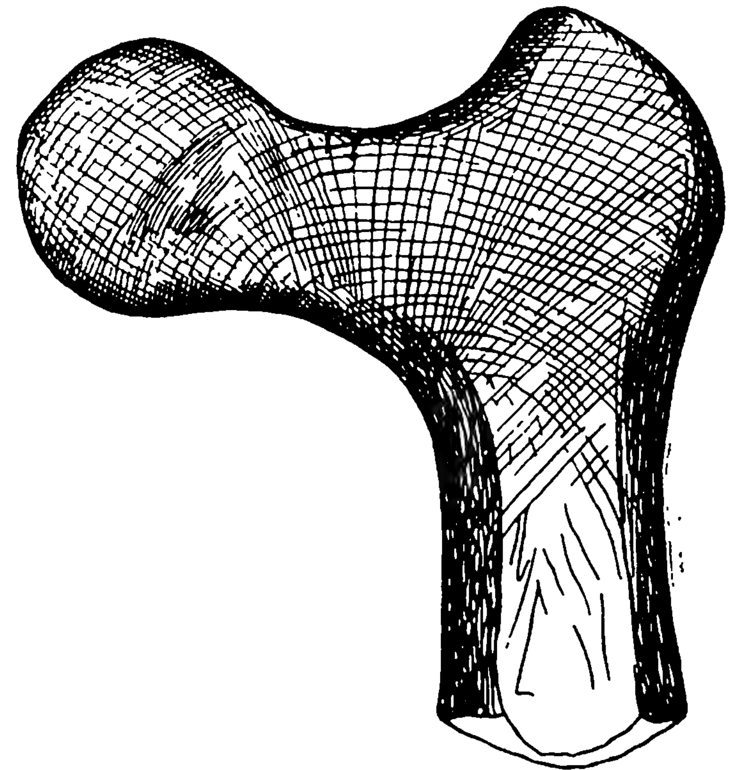
Вопрос становится значительно яснее, если сравнить с этими явлениями им сходственные явления, имеющие место для других тел в подобных же условиях. Так, например, если обратимся к стеклу, то заметим, что при сдавливании стеклянной пластинки в местах, аналогичных лучам на стали, стекло получает особые световые свойства поляризовать обыкновенный свет или отклонять плоскости поляризации уже поляризованных лучей света. Опыт может состоять, например, в том, что если вместо кварцевой пластинки в пирометре Мезюре и Нуэля вставить между призмами Николя стеклянную пластинку, то, пока она будет свободна от давлений, присутствие ее не замечается; но если сжать ее, например, с двух сторон винтами, то тогда же происходят световые явления, напоминающие вышеописанные линии на стали: от точек нажатия отходят веерообразно криволинейные лучи в виде сероватых линий; кроме того, появляются сильно окрашенные в различные радужные цвета полосы, объемлющие последовательно друг друга и окружающие точки надавливания, так что получаются красивые фигуры, называемые «павлиньими глазками» (фиг. 8 на стр. 63). Эти фигуры изменяются в зависимости от числа и расположения точек приложе-

ния усилий. Если, например, сжать пластинку по диагонали, то в углах получаются маленькие, сильно вытянутые «павлиньи глаза» (фиг. 34); при сдавливании планкой с одной стороны и винтом с середины противолежащего бока получается фигура в виде тритоньего хвоста (фиг. 9 на стр. 63). Сличая эти явления с линиями на стали, нельзя не видеть аналогии между ними: те и другие показывают, что передача механического усилия по массе однородного тела происходит не непрерывным образом. Как представить переход давления от точки приложения давящей силы к другим точкам тела: уменьшается ли давление непрерывно и постепенно при переходе от одного сечения к другому, передается ли равномерно на всю площадь, распространяется ли оно от точки приложения усилия наподобие растушеванной тени или света, исходящего от светящейся точки? Судя по описанным явлениям, нужно полагать, что давление передается волнами больших и меньших напряжений и законы распространения их очень сходны с законами распространения волн в других случаях; так, многие ненаблюденные здесь явления могут быть ожидаемые, например отражение. В фигурах, получаемых при опытах со стеклянной пластинкой, лучи всегда нормальны к окрашенным периферия в точках их пересечения; таким же взаимным свойством обладают, как известно, линии сил и поверхности уровня. Попытаемся, однако, прийти к подобным заключениям дедуктивным путем: допустим, что механическое усилие передается в однородном теле не непрерывно, а волнами, что, следовательно, должны существовать места наибольших и наименьших напряжений, которые чередуются между собой. Световое явление в стекле нельзя в нем фиксировать (с целью дальнейшего изучения), потому что в стекле предел упругости совпадает с пределом сопротивления разрыву или раздроблению и, пока стекло не раздроблено, все деформации суть упругие; явление исчезнет, как только уничтожится давление. Но в стали иное дело: если наше заключение по аналогии верно, то увеличивая механическое усилие (при продавливании или при разрезке) за предел упругости стали, мы вызовем в ней остающиеся удлинения, и эти удлинения раньше всего появятся в местах наибольшего напряжения. Естественно, что хрупкая окалина, покрывающая поверхность стали, отскочит, отлупится с растянутых мест, а если поверхность была полирована, то надтянутые или сдавленные места сделаются матовыми (что на самом деле и происходит), и в обоих случаях мы получаем вышеописанные рисунки на поверхности стали. Если это заключение правильно, то на основании опытов Баушингера в местах растяжения за предел упругости, т. е. в слоях металла, обозна-



Фиг. 34

чившихся линиями на поверхности, предел упругости будет теперь повышен, а следовательно, будет иметь место следующее явление. Если вырезать резцом (но не ножницами) или пилой образец из такой, покрытой рисунком, стали и уничтожить наружные признаки произведенной деформации шлифовкой, затем подвергнуть брусок растяжению, то в местах с повышенным пределом упругости еще не будет остающихся удлинений и поверхность их сохранит блеск, в то время как такие удлинения уже появятся в промежуточных местах и сообщат поверхности между бывшими линиями матовый вид, т. е. рисунок восстановится, только в обратном виде, появится матовое поле со светлыми линиями. Наконец, в местах, где получаются остающиеся удлинения, должно быть уменьшение размера по нормали к направлению усилия, т. е. матовая поверхность должна представлять вогнутость, а блестящие линии должны представлять выпуклости, гребешки; это действительно и замечается, если посмотреть на отсвет поверхность образца.



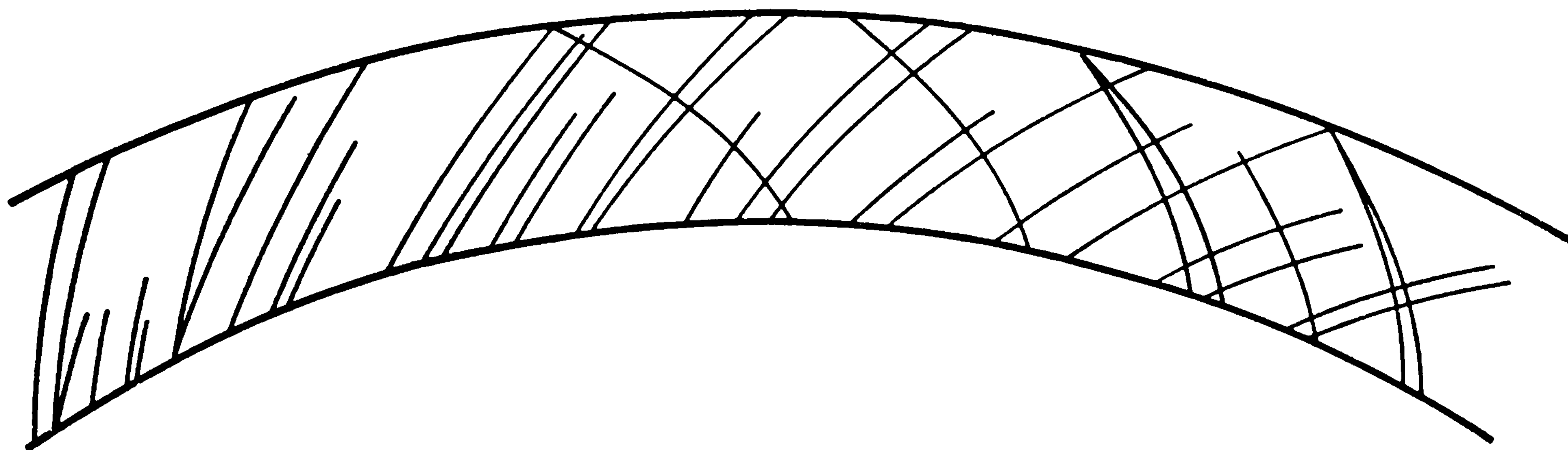
Фиг. 35

Оказывается, что вид и размеры пластинки, деформируемой продавкою или резкою, имеют большое влияние на фигуру и размеры линий: против углов материал меньше тянется, против коротких сторон больше, а потому линии располагаются неправильно в угловых пластинках; для получения правильной фигуры надо продавливать отверстие в центре круглой пластинки.

В природе часто можно подметить распределение материала, рассчитанное наивыгоднейшим образом для передачи тех или иных усилий, так что и способы передачи усилий как бы указаны природой, но в искусстве мы не всегда ими умеем воспользоваться. В данном случае мы встречаем в строении костей любопытную аналогию с рассматриваемым явлением. Кости представляют подобие пустотелых колонн, которые, как известно, гораздо лучше сплошных сопротивляются изгибу и сжатию при одинаковом весе материала; головка же кости в сочленении, например головка бедряной кости (вертлюг), помимо других функций, служит также и для передачи усилий от пустотелой колонки на всю поверхность сочленения; в головке она не пустая, а заполнена костным веществом, однако для экономии материала не сплошь, и в разрезе представляет целую сеть слоев и перегородок, общее расположение которых (фиг. 35) явно напоминает расположение вышеописанных линий на стали. Естественно заключить, что природа оставила материал в тех местах, кои при действии усилий на головку кости, в случае сплошного материала, явились бы местами наибольшего напряжения. Морщины, появляющиеся при сжатии тел, также могут служить указанием на волнообразное распределение давления. Наконец заметим, что и в кольцах, скрепляющих орудия, могут также появляться

линии растяжения, а в скрепляемых стволах — линии или слои сжатия (подобие морщин), если при скреплении, вследствие чрезмерной разности в диаметрах, будут перейдены пределы упругости материала на растяжение или на сжатие.

По отношению к артиллерийским орудиям, в особенности крупных калибров, явления эти в связи с явлениями, наблюденными Баушингером относительно изменений в величинах пределов упругости материала при растяжении его или некотором сжатии, имеют весьма серьезное значение.



Фиг. 36

В самом деле, если, например, сжатие внутреннего слоя ствола орудия происходит также не непрерывно, а волнами наибольшего сжатия, то можно ожидать, что хотя средняя величина сжатия (выведенная по измерению диаметра) и не превосходит определенного для данного материала предела упругости, однако на самом деле в слоях наибольшего напряжения может быть уже появились остающиеся сжатия. Принимая во внимание, что во время выстрела внутренние слои орудия подвергаются растяжению, а в момент вылета снаряда, вследствие быстрого освобождения от внутреннего давления, те же слои подвергаются обратному удару всех внутренних сил наружных скрепляющих слоев орудия, мы можем ожидать, что мало-помалу, по мере повторения выстрелов, в стенках ствола около канала наступит разрушение металла и появятся трещины. Примером такого разрушения может служить 11-дюймовое орудие завода Круппа (№ 85), исправленное на Обуховском заводе рассверлением канала и вставкой толстой внутренней трубы. Что при скреплении орудия могут появляться в кольцах слои или волны наибольших или наименьших напряжений, можно иногда видеть по появлению линий растяжений на боковой поверхности колец после надевания их на орудия.

Для примера можно привести фиг. 36, где изображены линии, появившиеся на заднем срезе надкаморного кольца, надетого впереди клина 8-дюймовой облегченной пушки № 1598 (рисунок в $^1/_4$ долю натуральной величины).

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОИДОВ И МЕТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

До сих пор мы рассматривали сталь как некоторое соединение железа с углеродом и сообразно с тем определяли ее свойства, однако заводским путем невозможно приготовлять сталь, содержащую только эти два элемента, — в ней являются различные посторонние примеси.

При заводском производстве очень трудно, если не невозможно, отделить совершенно от стали, как и от железа, кремний, серу, фосфор, марганец и прочие примеси, переходящие в металл в том или другом количестве как из материалов, служащих для изготовления стали, так и из стенок печей и сосудов, в которых она приготовляется, а отчасти из употребляемого при том топлива. Влияние таких примесей мы теперь и рассмотрим.

Более всего и чаще в стали попадается к р е м н и й, количество его колеблется от лишь заметных следов при анализе, приблизительно до 0,5%, и редко встречается в количествах свыше 0,6%. Кремний по химическим свойствам во многих отношениях напоминает углерод, и если в стали он содержится в небольшом количестве, то усиливает в ней свойства, до некоторой степени аналогичные со свойствами, сообщаемыми самим углеродом, кроме свойства закалки.

Кремний уменьшает растяжимость и вязкость стали, несколько понижает температуру плавления, и, главное, с возрастанием количества углерода он сильно влияет на ковкость стали при высокой температуре, значительно уменьшая эту способность. При продолжительном действии красного каления, в особенности при медленном затем охлаждении, кремний отчасти вытесняет углерод из его соединения с железом. Так, после медленного отжигания стали, содержащей кремния около 0,25%, уже в ней замечается при анализе некоторое количество графита, который уменьшает в стали сопротивление разрыву и тягучесть. В этом отношении замечательно действие ковки: выделившийся при медленном отжигании углерод вновь соединяется со сталью после энергичной проковки ее при красном калении.

Влияние большого количества кремния особенно дурно в стали, назначенной для приготовления инструментов, потому что такая сталь часто подвергается повторительной закалке без проковки (при исправлении инструментов), отчего она делается хрупкой и после второй и третьей закалки дает трещины.

Ввиду вышесказанного необходимо по возможности избегать кремния в стали, не допуская содержания его свыше 0,15%, в особенности в твердых сортах.

М а р г а н е ц и х р о м действуют на соединение железа с углеродом противоположно кремнию: они увеличивают их взаимное сродство [27], причем общее количество входящего в соединение с железом углерода при насыщении его значительно возрастает. Это замечается рельефно,

[27] Или же сами входят с углеродом в более прочное соединение, противостоящее влиянию кремния.

например, в марганцовистом чугуне, который при 25—30% марганца может содержать свыше 6% углерода, без выделения его в виде графита, так что чугун этот остается совершенно белым. Хромистый чугун способен к еще большему насыщению углеродом: при 40% хрома содержание углерода доходит свыше 8%; при 50% хрома содержание доходит до 11% углерода. Если к серому чугуну прибавить несколько процентов марганца или хрома, то чугун отбеливается: углерод весь остается в соединении с железом. Отсюда мы должны заключить, что и в стали элементы эти удерживают углерод от выделения, вследствие чего марганец нарочно прибавляется в количестве около $^1/_4$% при приготовлении инструментальной стали для противодействия вышеописанному влиянию кремния, в мягких же сортах, например при изготовлении рельсов, осей, листов и т. п., вводят его иногда до 1% и более, что, впрочем, совершенно излишне, если сталь не содержит много кремния и других вредных примесей [28]. Марганец несколько в меньшей степени, хром же в несколько большей степени увеличивают вязкость, предел упругости стали и сопротивление ее разрыву, в особенности это замечается для хрома, почему он в последнее время получил большое применение при приготовлении как твердой инструментальной стали, так и средней, и мягкой. Хром в количестве 1,5 до 2% особую услугу оказал при приготовлении стальных бронепробивательных снарядов, так как при этом содержании хрома достигается весьма сильная закалка и сохраняется вязкость. Хром вводится в сталь (в количестве 0,25 до 0,75%) в настоящее время на некоторых заводах при приготовлении артиллерийских орудий, бандажей для железнодорожных колес, осей и даже рельсов.

Присутствие серы весьма вредно отражается на качествах стали при высоких температурах во время обработки, так как вызывает в ней красноломкость. Вредное влияние серы при красном калении проявляется уже заметно при содержании свыше 0,07—0,08%; при обыкновенной же температуре значительно большие количества ее не отражаются заметным образом на качествах стали. Таким образом, сера является помехой скорей производителю стали, нежели ее потребителю. Но так как в настоящее время удаление серы до 0,05—0,06% не представляет больших затруднений, даже при выплавке чугуна, то в стали обыкновенно она встречается в незначительных количествах.

Особенно вредным элементом в стали является фосфор. До последних пятнадцати-двадцати лет при выплавке чугуна из фосфористых руд и при получении из него железа и стали не могли освободиться от фосфора в такой мере, чтобы он не оказывал вредного влияния на сталь, а потому для выделки стали выбирался чугун, не содержащий больших количеств фосфора. В настоящее время уже не представляется затруднительным даже из богатых фосфором чугунов выделывать сталь содержащую едва 0,05% и менее фосфора. Тем не менее количество фос

[28] Здесь не имеется в виду специальная марганцовая сталь, изготовляемая с большим содержанием марганца, приблизительно от 10 до 20%, но это уже не сталь, а сплав железа с марганцем.

фора в стали, получаемой обыкновенным путем свежевания сравнительно чистых чугунов, нередко достигает 0,1% и более. Главнейшая причина последнего обстоятельства заключается в том, что большинство сравнительно чистых руд содержит столько фосфора, что выплавленный из них чугун редко содержит его меньше 0,1%, к тому же фосфор, даже при содержании свыше $^1/_4$%, не мешает свариваемости и вообще обработке стали и железа при высокой температуре, поэтому присутствие его почти безразлично для фабриканта, но фосфор мешает потребителю, вызывая в металле хладноломкость. Содержание его в количестве свыше 0,1% вызывает уже в стали так называемую *сухость*: сталь делается менее вязка и ломается в холодном виде с весьма малым изгибом; ломкость проявляется преимущественно при ударах. При медленном разрыве на прессе влияние фосфора замечается преимущественно по малому сужению в месте разрыва и по сравнительно меньшему удлинению.

Особенно вредное влияние фосфора сказывается при температурах, низших 0°; ломкость тогда значительно возрастает; вследствие этого на многих железных дорогах (в России на всех) при ударной пробе некоторых железнодорожных принадлежностей (в особенности рельсов) испытуемый предмет подвергается предварительно искусственному замораживанию с понижением температуры до 12—15° Реомюра ниже нуля.

При медленном охлаждении после нагрева до ярко-красного каления фосфористая сталь особенно склонна к развитию кристаллического сложения, и тогда ломкость ее проявляется в особенно сильной степени; будучи обработана ковкою или прокаткою при темно-красном калении, сталь эта обладает достаточной вязкостью, так что влияние фосфора становится мало заметным.

Подобно тому как вредное влияние кремния уравновешивается присутствием в стали марганца, влияние фосфора также в большой мере может быть ослаблено прибавлением в сталь марганца; в особенности это замечается в стали с небольшим количеством углерода, примерно меньше 0,5%.

М е д ь в количестве приблизительно до 0,1% не оказывает особенно вредного влияния на сталь при небольшом содержании углерода; однако примесь меди даже и в таком количестве вызывает в стали красноломкость и уменьшает тягучесть, если одновременно находится и сера, хотя бы и в незначительном количестве, примерно 0,05—0,07%. Полезное действие марганца замечается и в этом случае: красноломкости не замечается, если одновременно будет содержаться в стали от 0,5 до 1,0% марганца.

Медь весьма трудно удалить из чугуна, так как она окисляется труднее железа и потому при свежении переходит в железо и сталь; в горных рудах железа нередко попадается примесь медной зелени и сини, также и медного колчедана, а потому медь нередко встречается в стали.

М ы ш ь я к и с у р ь м а вредны приблизительно в той же мере, как и сера. Для каждого из этих элементов в отдельности можно считать 0,1% наибольшим предельным количеством, допускаемым в стали без особенно заметного вреда для ее качеств; однако если все эти элементы находятся

в стали одновременно, то 0,1% нужно считать пределом для суммы их количеств.

Никель хорошо сплавляется со сталью, увеличивая ее вязкость и тягучесть, однако он обладает свойством вытеснять углерод стали из соединенного или растворенного состояния в виде графита, а потому полезен только в мягких сортах с небольшим содержанием углерода. В последнее время никелевая сталь с успехом применяется к изготовлению стальных броневых плит, железнодорожных принадлежностей и пр.

Вольфрам прибавляется к стали, назначенной для приготовления твердых предметов. Сталь, содержащая его в количестве 2%, не требует закалки, так как и без того слишком тверда. Вольфрамистую сталь пробовали употреблять и для изготовления артиллерийских снарядов, но безуспешно, так как получалась сильная закалка с большим увеличением объема, отчего являлись сильные внутренние частичные напряжения, уменьшающие стойкость снарядов.

Алюминий заметно понижает температуру плавления стали и железа даже при полупроцентном содержании в сплаве; делает металл более жидким и способным заполнять более сложные формы при отливке, нисколько, по-видимому, не уменьшая механических качеств стали: предела упругости, сопротивления разрыву и удлинения. Замечено, однако, что присутствие алюминия увеличивает способность стали кристаллизоваться при переходе из жидкого состояния в твердое, что, в свою очередь, ведет к увеличению рыхлости слитков, в особенности в центральных частях. В самых незначительных количествах (приблизительно около 0,05—0,07%) алюминий полезен при фасонных отливках стали в земляные формы, так как устраняет выделение газов, отчего отливки выходят беспузыристы и плотны.

СОРТА СТАЛИ

В технике различают следующие сорта обыкновенной углеродистой стали по ее твердости, механическим качествам и преимущественному назначению для той или другой цели.

1. Сталь самая мягкая, с содержанием углерода приблизительно 0,3—0,4%, принимающая весьма слабую закалку, при растяжении на прессе дает удлинение около 25—20%, сопротивление разрыву около 40—50 $кГ/мм^2$, употребляется на изготовление частей машин, рельсов, железнодорожных осей и т. п.

2. Мягкая, с содержанием углерода 0,4—0,6%, принимающая среднюю закалку; сопротивление разрыву 50—65 $кГ/мм^2$ при удлинении 20—15%; употребляется на железнодорожные шины, оси, некоторые машинные части, артиллерийские орудия и т. п.

3. Средней твердости, с содержанием 0,6—0,8% углерода, принимает хорошую закалку; сопротивление разрыву 65—80 $кГ/мм^2$ при удлинении 15—10%; употребляется на пружины, рельсы, холодное оружие, режущие инструменты, резцы для обработки дерева и металлов, пилы, артиллерийские снаряды, скрепляющие кольца и внутренние трубы орудий и т. п.

4. Очень твердая, с содержанием углерода 0,8—1%, принимающая сильную закалку; сопротивление разрыву 80—100 *кГ/мм²* при удлинении 10—70%; употребляется на инструменты для обработки твердых металлов и камней, зубила, напилки, хирургические инструменты, бритвы т. п.

5. Самая твердая, с содержанием углерода 1,0—1,5% (свыше этого содержания приготовляется весьма редко, так как трудно обрабатывается); сопротивление разрыву 100—110 *кГ/мм²* при удлинении 7—4%; употребляется на особенно твердые напилки, гравировальные резцы, мелкие сверла, некоторые части часовых механизмов, волочильные доски и т. п.

СПОСОБЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТАЛИ

Ввиду того что сталь по составу своему занимает среднее место между чугуном и железом и что свойства ее обусловливаются главнейшим образом количеством входящего в ее состав углерода, для приготовления стали могут быть выбраны два пути: 1) насыщение железа известным количеством углерода; 2) отнятие от чугуна некоторого количества углерода, с удалением по возможности всех содержащихся в чугуне посторонних примесей.

Первый способ называется цементацией железа, второй — свежеванием чугуна.

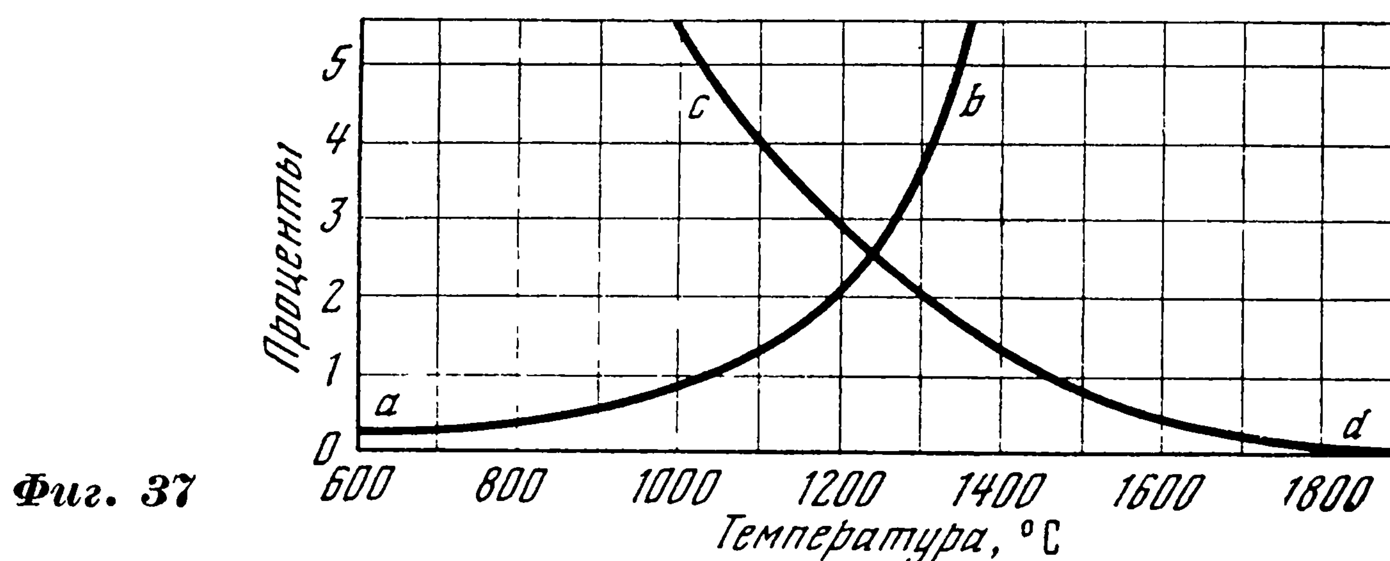
Как в первом случае, так и во втором сталь может быть получена или в расплавленном состоянии, или же только в сваренном виде, без участия расплавления. Соответственно тому сталь называется литой или сварочной.

Согласно принятому нами определению, при содержании менее 0,3% углерода, когда закалка не проявляется, металл называется более или менее мягким железом, которое также разделяется на литое и сварочное, сообразно способу получения.

Сварочная сталь

Приготовление цементной стали из железа

Если железо соприкасается с углеродом (в состоянии древесного угля) при краснокалильном жаре без доступа воздуха, то происходит пропитывание железа углеродом, цементация (род диффузии) последовательными слоями, причем глубина зависит от продолжительности времени цементации, а степень насыщения железа углеродом — от высоты температуры каления. Цементирующее действие угля значительно возрастает при участии азота и именно соединенного с углеродом в форме синерода, который легче образуется в присутствии щелочей. По всей вероятности, при цементации древесным углем некоторую роль играют синеродистые соединения щелочей, заключающихся в золе этого угля, доказательством тому может служить тот факт, что угольный порошок, раз служивший для цементации, теряет значительную долю своей цементующей способности и для даль-



Фиг. 37

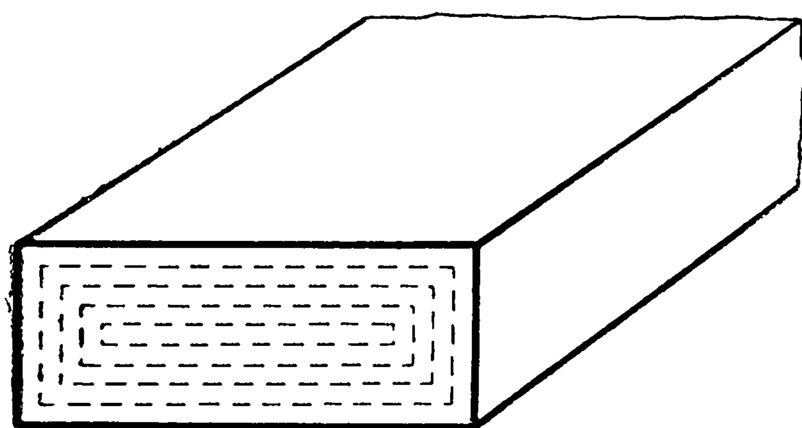
нейшего употребления в дело не годится, кроме того, уголь, смоченный раствором поташа, действует сильнее при цементации.

Хотя цементующим свойством обладают и другие виды угля, в особенности животный уголь по большому содержанию в нем азота[11*], а также углеводородные газы и окись углерода, но простейшим и удобнейшим веществом для фабричного производства все-таки остается древесный уголь.

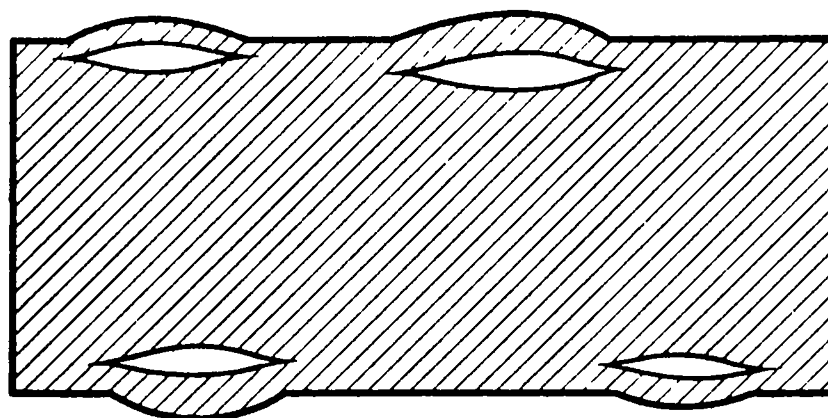
Начало цементации соответствует темно-красному калению (около 600°); с возвышением тепературы как энергия цементации, так и способность к насыщению железа углеродом возрастают. Поэтому при ведении процесса цементации нужно поддерживать такую температуру, которая соответствует желаемой степени насыщения железа углеродом, так как чем выше температура, тем выше и степень насыщения. Лучшей температурой при заводской цементации считается температура приблизительно 1000—1100° Ц. При более низкой температуре железо цементируется сравнительно медленно и слабо, при более высокой легко может случиться, что полученный продукт расплавится, обратившись даже в чугун.

Соотношение между степенью насыщения железа углерода при различных температурах и плавкостью или температурами плавления соответствующих продуктов цементации можно видеть на фиг. 37. Линия *ab* показывает, какое процентное содержание углерода можно получить в железе, цементуя его при различных температурах, линия *cd* показывает, при какой температуре плавится железо, насыщенное известным процентным количеством углерода. Так как точка пересечения этих кривых приходится приблизительно против температуры 1250° и соответствует 2,5% углерода, то эти две величины и представляют крайний высший предел как для температуры, так и для степени насыщения углеродом при цементовании железа без расплавления.

Полоса железа пропитывается углеродом сначала только на небольшую глубину с поверхности, как сказано выше; если проследить последовательно за ходом цементации, то увидим, что слои цементованные и нецементованные довольно резко отличаются друг от друга (фиг. 38), пока, наконец, цементация дойдет до самых центральных частей полосы. Для сокращения времени проникновения углерода во всю толщину железных полос для цементации берут обыкновенно полосы от $^3/_4$ до $^1/_2$ дюйма толщиной, при ширине 2 $^1/_2$—3 дюйма; полная цементация таких полос совершается 8—12 дней, смотря по степени нагрева. Вследствие такого про-



Фиг. 38



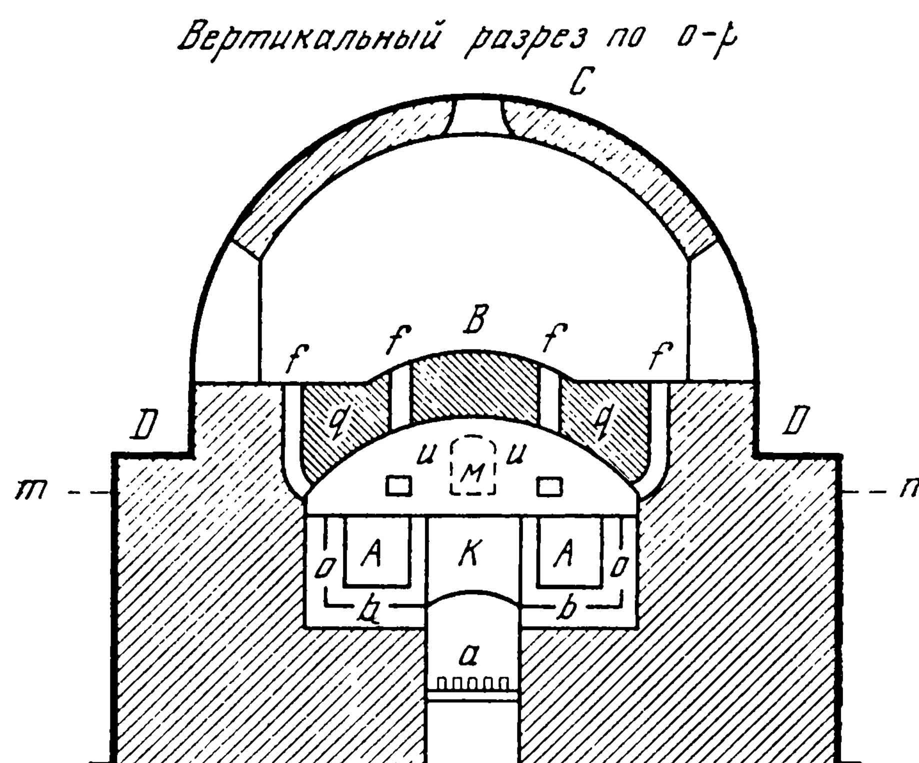
Фиг. 39

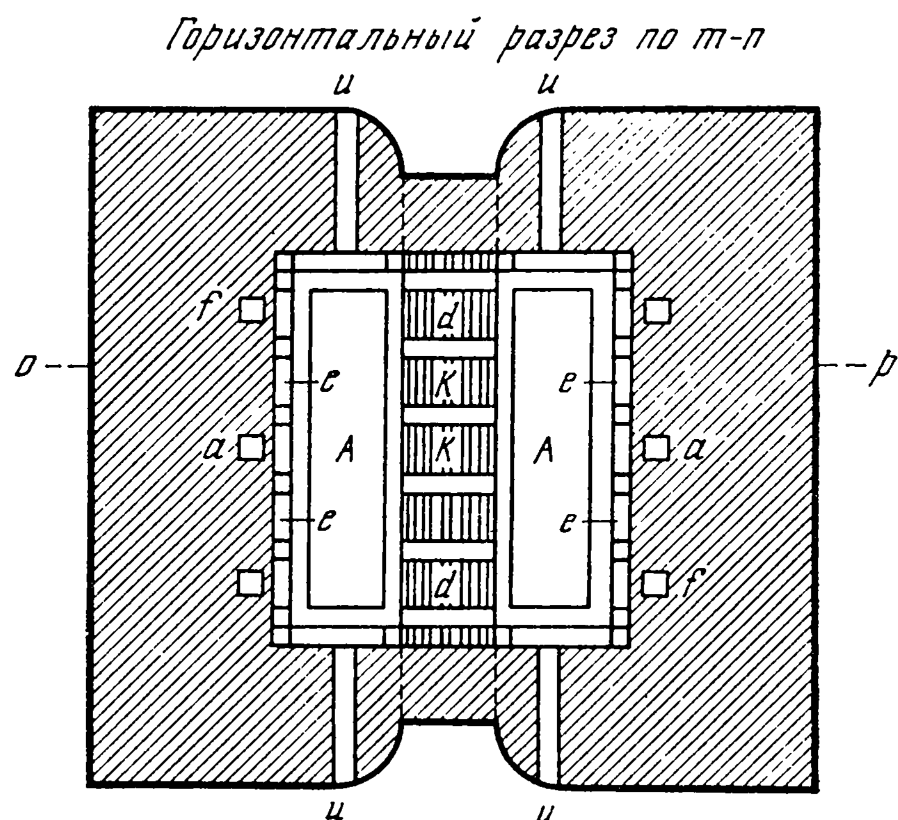
должительного томления в печах цементная сталь называется также *томленой*. При цементации железа на поверхности его являются пузыри (фиг. 39) обыкновенно в тем большем количестве, чем более сильно было цементирование; вследствие этого цементованная сталь называется также *пузырчатой* сталью. Появление пузырей зависит от присутствия внутри всякого сварочного железа небольшого количества шлаков, содержащих много железного окисла; от действия на этот окисел углерода, проникающего в железо, образуется окись углерода, которая поднимает металл в виде пузырей. Появление больших пузырей, неравномерно расположенных на поверхности полос, служит признаком нехорошего железа, дурно отжатого от шлаков; хотя при употреблении хороших сортов железа и появляются пузыри в большом числе, но размеры их не превосходят 2—3 линий в диаметре, и они сравнительно равномерно распределены по поверхности полосы. При цементации иногда также являются продольные трещины или расслоения на поверхности полос, происходящие от плохой сварки железа; в хорошей стали, однако, такие трещины не должны быть глубоки и часты. При проварке и проковке цементованной стали, т. е. при ее рафинировке, мелкие пузыри, а также и маленькие трещины уничтожаются, завариваются, и масса выходит на вид по излому совершенно целой внутри; если же в железе, употребленном для цементации, были большие плены и места, заключающие много шлака, то эти пороки при цементации увеличиваются и при последующей проковке не уничтожаются, вследствие чего такое железо вовсе не годится для переделки на цементную сталь.

Вообще для выделки цементной стали предпочитается *возможно чистое железо*, потому что иначе все примеси, бывшие в железе, будут заключаться также и в стали. Лучшими сортами железа для переделки в цементную сталь считается шведское, штирийское и русское уральское, выделанное из чугуна, проплавленного на древесном угле из чистых магнитных или бурых и шпатовых железняков, содержащих марганец и *весьма мало* фосфора и серы.

Цементование железа производится в печи особенного устройства, в которую устанавливают один или несколько (чаще два) ящиков из огнеупорного материала, охватываемых по возможности равномерно со всех сторон пламенем; в ящики укладываются железные полосы слоями попеременно

с древесноугольным порошком. Устройство так называемых английских печей, существовавших еще в прошлом столетии в Шеффильде и наиболее распространенных теперь, представлено в общих чертах на фиг. 40. Между фундаментными массивами *a*, *a* помещены горизонтальные колосники *d*. На горизонтальной грани нижнего уступа каждого из этих массивов выложено из огнеупорного кирпича по несколько низких поперечных стенок *b*, между которыми оставляются пять каналов *e*. На этих стенках возводятся донья ящиков *A*. Между стенками ящиков, ограничивающими с двух сторон пространство, находящееся над колосниками, возводятся вертикальные поперечные стенки *k*. Кругом ящиков, в промежутках между стенками печи и стенками ящиков, возводятся поперечные стенки *o*,*o*. Пламя от колосников идет частью под ящиками по горизонтальным каналам *e* между стенками *b* и подымается затем вдоль по вертикальным каналам между стенками *o*, частью же от колосников направляется прямо вверх между внутренними стенками ящиков по каналам, остающимся между вертикальными стенками *k*. Таким образом, пламя собирается с различных сторон под низким сводом *q*, *q*, покрывающим печь. В своде *q* сделано несколько каналов *f*,*f* для выхода пламени из печи в пространство *B*, накрытое, в свою очередь, сводом *C* для защиты печи от охлаждения. Продукты горения из пространства *B* выходят через отверстия в своде *C* в особо установленную над этим сводом дымовую трубу в виде широкого кожуха, опирающегося на заплечики стен *D*,*D*. Таким образом, ящики охватываются пламенем со всех сторон. Большое число поперечных стенок, проводящих пламя по отдельным каналам, имеет целью раздробление и более равномерное распределение пламени по всей печи. Для уравнивания температуры в разных частях печи могут служить заслонки, посредством которых можно более или менее прикрывать те или другие из отверстий *f* в своде печи. Поперечные стенки *o* и *k*, кроме образования каналов, служат также и для скрепления стен ящиков. Для скрепления же наружных стен печи их окружают снаружи чугунной облицовкой или отдельными чугунными крепями, стягиваемыми между собой болтами.





Фиг. 40

В концевых стенках печи сделаны лазы *М* для прохода рабочих во внутрь печи, а также дверцы для топок и для зольников, наконец, отверстия *и*, служащие для подачи полос при нагрузке и разгрузке ящиков. Все эти отверстия, кроме дверец для топок и зольников, плотно закладываются и замазываются во время топки печи. Часть печи, самая трудная в изготовлении, — это ящики; от нагревания в них не должны образовываться трещины или щели, иначе воздух проходит внутрь ящиков, сжигает местами угольный порошок, и железо в этих местах не будет цементоваться. Ящики делаются или из плит натурального *огнеупорного* камня (песчаника), или же из плит, нарочно выделанных для этой цели из огнеупорной обожженной шамотно-кирпичной массы. Плитам обыкновенно придают такие размеры и форму, чтобы швы (стыки) между ними соединялись взакрой и приходились против стенок, подпирающих ящик снизу и с боков. Хотя плиты эти тщательно обжигаются до употребления и швы между ними замазаны глиной, тем не менее щели в швах легко открываются от усушки и спекания глины, в особенности при первой топке, пока еще ящики не успели покрыться глазурью. Ящики также складывают из огнеупорного кирпича (т. е. плит меньших размеров), но в таком случае стенки нужно складывать в два слоя вперевязку, чтобы кирпичи наружного слоя покрывали стыки внутреннего.

Нагрузка ящиков начинается с того, что на дно их насыпают слой в 1 дюйм толщиной мелкого порошка огнеупорной глины или кирпича, затем около $2^1/_2$ дюйма старого цементного угольного порошка, около $^1/_4$ дюйма свежего угольного порошка, затем слой железных полос, $^1/_4$ дюйма цементного порошка, слой железа и т. д. Не доходя на 4 дюйма до верха ящика, насыпают 3 дюйма угольного порошка отчасти старого (угольный мусор), а над ним, чтобы воздух не имел доступа, слой глиняного или песчаникового порошка (например, грязь от точил или с шоссейных дорог [29]) или же кирпичи, которые засыпают толстым слоем песка. Покрышка эта должна быть так уложена, чтобы она, не давая трещин, могла опускаться по мере оседания массы во время цементации. При укладке железных полос надобно наблюдать, чтобы крайние полосы отстояли от боковых стенок ящиков не менее $^1/_2$ дюйма и чтобы концы полос отстояли по крайней мере на $1\,^1/_2$ дюйма от концевых стен ящика, для того чтобы за расширением их от теплоты остался еще слой угля достаточной толщины для защиты концов от воздуха, случайно проникающего через щели. Притом надобно наблюдать, чтобы внутри ящика полосы нигде не соприкасались между собой, иначе в местах прикосновения они могут привариться одна к другой.

Предварительного разогревания печи не производится, так как ящики укладываются рабочими, входящими в самую печь. Закладка в новой печи делается только после тщательной просушки ее в течение около 2 недель, причем температура доводится до яркого красного каления. После закладки железа в новые ящики надобно вести топку сначала очень медленно,

---

[29] Та и другая содержат множество мельчайших частиц железа от обтачиваемых изделий и от изнашивающихся шин и подков, а потому при жаре спекаются в тонкую непроницаемую для воздуха плену.

так, чтобы достичь надлежащего жара только по прошествии около 3 суток; при старых ящиках, уже раз прослуживших, можно сократить это время до $1^1/_2$ суток. Сильный жар, потребный для цементации, надобно поддерживать в течение 6—9 суток, так как только в такой продолжительный промежуток цементация может быть равномерною. В течение этого времени надо тщательно наблюдать за печью и управлять жаром так, чтобы он повсеместно был равномерен. Под конец этого периода вынимают из ящиков пробные бруски через особое отверстие; по излому пробных брусков судят о приближении конца процесса. Когда процесс цементации полос подвинулся достаточно глубоко, прекращают топку, и, когда замечают, что температура печи начинает уже понижаться, закрывают и замазывают все ее отверстия для возможно медленного охлаждения и защиты от проникновения наружного воздуха. Под конец охлаждения опять открывают замазанные отверстия для ускорения охлаждения и освещения воздуха в печи. Проходит обыкновенно 6—8 дней по прекращении топки, пока печь охладится до того, что рабочий может входить в нее для выгрузки. После выгрузки одной делают новую закладку; времени от одной закладки до следующей (т. е. продолжительность всего процесса) считается около трех недель, или в год 15 закладок.

Обыкновенная закладка железа в каждом ящике составляет 350—850 пудов; на 1 пуд железа требуется 0,1 куб. футов цементного порошка, который следует предварительно слегка смочить, для уменьшения распыловки при нагрузке, некоторым количеством воды, к которой полезно прибавить до $^1/_2$% поташу.

Каменного угля, потребного для топки печи, приходится около 2 пудов на каждый пуд добываемой стали.

Готовой стали получается по весу больше против заложенного железа на 1—2%.

По вынутии из печи цементная сталь тщательно сортируется по твердости и по степени законченности цементации до средины полос. Указателем при этом служит вид свежего излома полос; полосы эти ломаются очень легко при помощи кузнечного молота на особой вырезной наковальне. Согласно сортировке, дается назначение стали на разного рода изделия. Более мягкая сталь идет после проковки, например, на рессоры, на наварку инструментов для обработки дерева: топоров, долот, рубанков и др., более твердая — на напилки, неоднородная идет в рафинировку[30], кроме того, сорта различной твердости, по тщательной сортировке, идут на приготовление литой стали высшего качества, на переплавку в тиглях.

Процессу цементации иногда подвергают уже готовые железные изделия для осталивания их лишь на известную глубину, если от поверхности требуется большая твердость, между тем как само изделие не должно быть ломко. Крупные напилки, так называемые бруски или брусовки, обыкновенно делаются из железа, которое с поверхности превращено цемента-

---

[30] Т. е. разрезается на куски около 1 фута длиною, складывается в пакеты, проваривается и проковывается несколько раз.

цией в сталь; с поверхности цементуются также части ружейного замка и некоторые машинные части, подверженные сильному истиранию. При цементовании в малом виде ограничиваются тем, что упаковывают изделия в чугунные горшки с цементным порошком, который обыкновенно в этом случае выбирается из веществ, содержащих много азота и производящих цементацию быстрее древесного угля; для этого могут служить, например, сажа, собранная из дымовых труб, обрезки кожи, рога и т. п. Нагревание горшка производится или просто в кузнечном горну, или же лучше в особенных пламенных печах. В течение нескольких часов изделия могут процементоваться на глубину нескольких точек; по окончании процесса содержимое горшка обыкновенно высыпают в раскаленном состоянии прямо в воду, так что образовавшаяся в поверхностном слое изделий сталь тут же и закаливается; потом изделия смотря по надобности отпускают.

Подобного рода операция известна под названием *закалки в пакетах*. Подобной закалке могут быть подвергнуты изделия, уже совершенно отделанные; цементация поверхности не доходит до того, чтобы масса разрыхлялась и чтобы образовались пузырьки, так что отделка закаливаемого предмета остается неиспорченной.

Получение сварочной стали свежеванием чугуна. Кричный и пудлинговый способы

Процесс образования стали в кричных горнах и процесс, происходящий при пудлинговании чугуна для получения стали, в сущности те же самые, как и при добывании железа; в частностях употребляемых приемов, однако, есть различия, вызываемые главным образом тем, что при добывании стали процесс обезуглероживания надо оставить раньше, нежели при железе, и вместе с тем поддерживать в печи несколько низкую температуру для надлежащей свариваемости кусков, в особенности при твердых сортах стали.

Чтобы иметь возможность остановить процесс именно в то время, когда это нужно, при работе на сталь нарочно замедляют ход свежевания; вследствие этого и процесс в результате требует более времени, чем при получении железа. Медленный ход свежевания необходим еще и потому, что только при нем можно достигнуть более равномерного обезуглероживания всей обратываемой массы; это условие особенно важно для стали, так как однородность есть одно из важнейших ее качеств. Для своевременной остановки процесса необходимо уметь управлять составом и количеством шлаков, причем так называемый сухой способ пудлингования при работе на сталь не употребляется. Шлаки должны быть беднее железными окислами и более жидки и легкоплавки, чем при добывании железа, для того чтобы они замедляли окислительный процесс и были удобоподвижны при обжимке стальных криц, имеющих всегда низшую температуру против железных.

Чугуны, пригодные для выделки стали, должны быть по возможности чисты, т. е. по возможности ограничиваться содержанием лишь углерода,

кремния и марганца. Большая часть чугунов, употребляемых вообще для переделки в сталь в кричных горнах, происходит от проплавки на древесном угле чистых шпатовых или бурых железняков. Для переделки в сталь пудлинговым способом можно употребить вообще чугуны менее чистые, чем для кричного способа; даже некоторые коксовые чугуны могут годиться для этой цели, хотя и дают сталь сравнительно низших качеств.

В ходе работ при пудлинговании на сталь могут быть отмечены следующие особенности. Чугун, закладываемый в печь, должен быть в тонких и однообразных плитках, чтобы расплавление шло быстро и одновременно для всех кусков. Количество закладки в ординарную печь — 8—10 и не более 12 пудов. Тщательное перемешивание производят, как только расплавится чугун. Количество шлаков должно быть достаточно, чтобы поверхность чугуна не оголялась. В это время, при постоянном перемешивании, совершается первый период процесса: кремний, отчасти марганец, выделяется из чугуна в шлак, углерод выделяется медленно в небольшом количестве; температура ванны несколько возвышается, преимущественно от сгорания кремния, и чугун делается жиже. Затем наступает второй период — более или менее значительное выгорание углерода из чугуна; в это время стараются несколько понизить температуру печи, чтобы чугун загустел настолько, что перемешивался бы со шлаками и наступил бы период кипения. После выделения большей части кремния в шлаки они становятся более кислыми, и потому для поддержания их основности, в видах полнейшего выделения остального кремния из чугуна и вместе с тем большей их легкоплавкости, прибавляют марганцовой руды (пиролюзита) и поваренной соли, иногда с глиною; окисляющее действие таких шлаков медленнее, нежели сильно железистых, и потому выделение углерода во время кипения идет не слишком быстро [31]. Если температура печи в этом периоде будет понижена до температуры сваривания той твердости стали, какую желают получить, то одновременно с тем, как чугун обезуглеродится до степени желаемой твердости стали, начнется слипание отдельных частиц образовавшейся стали в более крупные куски и кипение почти прекратится.

Из сказанного следует, что хорошее управление температурою в печи есть одно из важнейших условий для возможности получения стали в пудлинговой печи. Поэтому рабочий должен заботиться о том, чтобы поддерживать кипение при температуре по возможности низкой, причем легкоплавкость шлаков имеет весьма большое значение, так как иначе вся масса загустела бы ранее конца кипения. Основность и марганцовистость шлаков способствуют переходу в них фосфора и серы; последняя удерживается в шлаках в виде сернистого марганца, а фосфор — в виде фосфорнокислых солей железа, марганца и натрия.

Вследствие важного значения марганцовистых шлаков при свежевании на сталь чугуны, содержащие м а р г а н е ц, особенно для того пригодны, так как присутствие марганца *замедляет выгорание углерода* и спо-

---

[31] Необходимо припомнить, что в марганцовом силикате не растворима магнитная окись железа, наиболее способствующая окислению углерода в чугуне.

собствует в то же время выделению серы и кремния и увеличению жидкости шлака. Поэтому в случае недостатка марганца в чугуне его, как сказано выше, прибавляют к шлакам в виде перекиси, вместе с поваренной солью.

Дальнейшая работа по образованию криц и их обжигу представляет мало различия от той же работы при пудлинговании на железо. Размер криц делается несколько меньше, а обжимка более осторожна, нежели при железе; обжатая болванка обыкновенно надсекается посредине для ее излома после остывания. По виду излома болванок производится предварительная сортировка их перед прокаткой.

Сталь, приготовленная кричным или пудлинговым способом, прокатывается в полосы, которые в раскаленном состоянии, прямо из вальцев, бросаются в воду, причем они несколько закаливаются и могут быть легко сломаны. Сталь затем сортируют на несколько номеров по легкости, с которой она ломается, и по виду излома.

Выделка стали пудлинговым способом представляет большие выгоды перед выделкой кричным способом. Возможность употребить ископаемый горючий материал вместо древесного угля и большая производительность пудлинговой печи значительно удешевляют пудлинговую сталь против кричной.

Назначение пудлинговой и кричной стали то же, что и цементной, но на более грубые и дешевые изделия. Пудлинговая сталь вскоре после введения ее производства (в 40-х годах) нашла себе применение для приготовления литой стали переплавкою в тиглях вместо цементной; хотя стоимость производства такой литой стали понизилась, но качества ее значительно уступают переплавленной цементной.

Получение стали в расплавленном состоянии

Способ Бессемера [12*]

Бессемер в 1855 г. предложил новый способ приготовления стали продуванием холодного воздуха непосредственно сквозь расплавленный чугун. На первых порах Бессемер потерпел большие неудачи, но после опытов в Швеции способ его оказался вполне соответствующим цели и распространился по всей Западной Европе в весьма широких размерах. У нас же в России собственно промышленным образом бессемерование введено около 25 лет тому назад, сначала на Обуховском сталелитейном заводе, затем на Путиловском, Брянском, Демидовском на Урале и там же на Катав-Ивановском заводах; недавно установлено производство бессемерования на новых заводах на юге России.

Способ Бессемера, как упомянуто выше, основан на том, что свежевание чугуна происходит не через посредство шлаков, как это имеет место в пудлинговых печах, а непосредственным прикосновением воздуха, продуваемого сквозь всю толщу металлической ванны.

Процесс бессемерования совершается в особенном подвижном аппарате, имеющем вид реторты, причем количество перерабатываемого за один раз чугуна колеблется от 4 до 10 *т*, редко более.

В конце 1870-х годов приспособили к бессемеровской реторте набойку и кирпичи из обожженного доломита, таким образом состав стенок реторты был вполне основной (CaO и MgO), что дало возможность прибавлять в реторту во время процесса вещества, поддерживающие сильно основной характер шлаков, а именно: известь, доломит, железную окалину, руду и т. п., для насыщения постоянно прибывающего в шлаки кремнезема по мере сгорания кремния, содержащегося в обрабатываемом чугуне. Как сказано было выше, при основных шлаках с малым процентным содержанием кремнезема фосфор может легко фиксироваться в шлаках в виде фосфорного ангидрида, соединенного с каким-либо сильным основанием, например с известью, магнезией или закисью железа, в основную соль. Опыт показал, что наиболее прочное соединение представляет основная фосфорнокислая закись железа, образующаяся в самом конце операции, когда в металле уже нет кремния и углерода и когда начинает сильно окисляться железо и переходить в шлаки. Но так как такая основная фосфорно-железная соль может быть удержана лишь в сильноосновных шлаках, то необходимо поддерживать их такими прибавкой извести или доломита, или же руды во время процесса.

На первых порах встретилось большое затруднение в том, что, с одной стороны, для разгорячения ванны во время процесса необходимо большое количество кремния, а с другой, большое количество кремния дает много кремнезема в шлаки и вынуждает прибавлять (для поддержания основности шлаков) очень большие количества извести и т. п. веществ, охлаждающих ванну; количество шлаков чрезмерно увеличивается и затрудняет ведение процесса.

Но так как окисление (сгорание) фосфора развивает громадное количество теплоты [32] и в этой роли кремний может быть заменен фосфором, то и является возможность с сравнительно большой выгодой процесс обесфосфоривания (основной процесс) вести на чугунах с весьма малым содержанием кремния и большим содержанием фосфора. Тогда прибавка извести, доломита или руды в начале процесса делается лишь в небольшом количестве, а окисляющийся фосфор фиксируется в шлаках в конце операции преимущественно с окисляющимся железом.

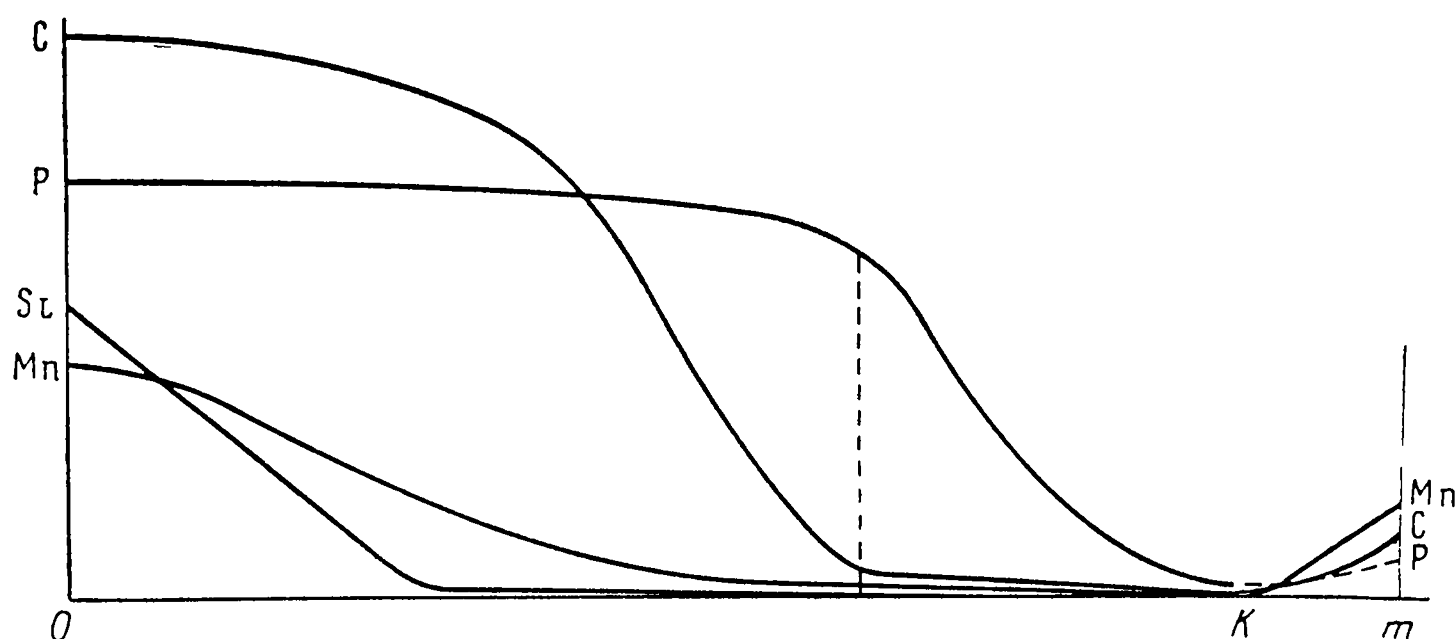
Опыт показал, что при 2% фосфора в чугуне количество содержащегося в нем кремния может быть доведено до 0,5%, причем операция идет достаточно горячо.

Ход основного процесса с обесфосфориванием металла можно изобразить на следующей диаграмме (фиг. 41).

Здесь линия C соответствует выгоранию углерода,
» P » » фосфора,
» Si » » кремния,
» Mn » » марганца.

Точка 0 соответствует началу дутья; точка K — концу операции; точка m показывает состав стали после прибавления зеркального чугуна.

[32] От сгорания фосфора в реторте остается $^2/_3$ того количества теплоты, какое остается от сгорания кремния для возвышения температуры ванны.



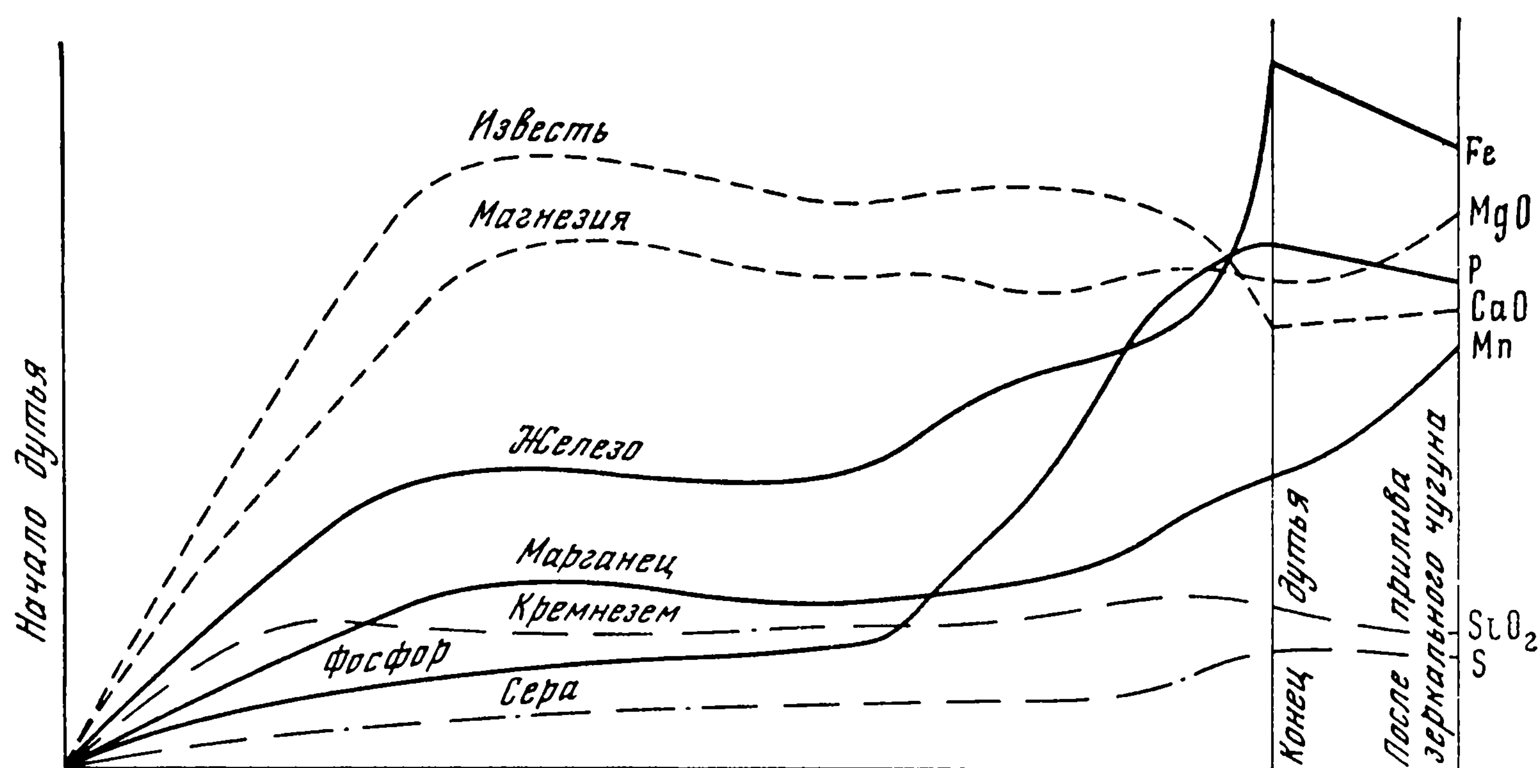
Фиг. 41

Из диаграммы видно, что выделение фосфора начинается одновременно с окончательным обезуглероженнем металла, следовательно, с того момента, когда при кислом процессе бессемерования следует прекратить дутье, окончить процесс. Таким образом, при процессе дефосфорации необходимо продолжать дутье после того, как спектр пламени реторты исчезнет, а вместо пламени из горла реторты наступит отделение бурого дыма — пыли окислов. Такая *передувка* составляет характеристическую особенность этого процесса и продолжается большее или меньшее время (1—3 мин., иногда и более), смотря по количеству содержащегося в чугуне фосфора. Конец процесса узнается или по *пробам металла* из реторты, причем судят по виду излома прокованной пробы, или, при постоянном сорте чугуна, *по времени передувки*, основываясь на опыте. При вливании зеркального чугуна часть перешедшего в шлаки фосфора вновь восстанавливается на счет введения с зеркальным чугуном углерода, поэтому иногда предпочитают спускать из реторты все шлаки до прибавления зеркального чугуна или же прибавляют этот чугун уже в разливном ковше, куда выливается металл из реторты без шлаков.

Изменение состава шлаков во время хода обесфосфоривающего основного процесса может быть изображено диаграммой (фиг. 42). Ординаты кривых представляют сравнительное содержание соответствующих веществ в шлаках, абсциссы выражают время от начала дутья.

Первые аппараты, устроенные Бессемером при введении в практику его идеи, были неподвижны и представляли из себя род вагранки, сравнительно невысокой и большого диаметра; воздух вдувался через почти горизонтальные фурмы, проделанные в боковых стенках вокруг печи близ пода; готовый металл выпускался, так же как из вагранки, в выпускное очко у пода печи. Такие печи, однако, устраивались лишь на шведских заводах; лет 25 тому назад они уже вышли и там из употребления и заменены вращающимися, так называемыми английскими ретортами.

В последние 15 лет вошли в употребление *маленькие* бессемеровские аппараты для переработки небольшого количества металла, 30—60 пудов [13*]. Такие небольшие аппараты, конечно, работают не столь выгодно в экономическом отношении, как большие, но они представляют большие



Фиг. 42

удобства для мелких заводов, имеющих небольшие доменные печи и малое производство, получать у себя сталь желаемых качеств и во всякое время без затрат на специальные устройства, так как маленькие аппараты приводятся в действие вручную и не требуют сильных воздуходувных машин. Уменьшенные аппараты имеют различные устройства по расположению фурм и действию дутья, одни неподвижные, другие вращающиеся. К первым принадлежит система Гриффит, наиболее распространенная в Швеции и Америке, ко вторым — аппарат Робера. Мы не входим в подробности по отношению устройства и действия уменьшенных аппаратов, так как они имеют временное и притом второстепенное значение в сталелитейном деле.

Литая тигельная сталь

Приготовление тигельной стали заключается собственно в переплавке уже готовой стали, полученной или путем цементации железа, или путем свежевания чугуна кричным, пудлинговым или бессемеровским способом, лишь в редких случаях расплавление в тигле соединяется вместе с цементацией железа, плавлением его вместе с древесным углем, с графитом или с чистым и богатым углеродом чугуном (зеркальным).

В прежнее время сырым материалом для тигельной стали служила только цементная твердая сталь, которая, будучи отсортирована по излому, закладывалась в тигли в мелких кусках, около $^1/_2$ фунта весом, и сплавлялась под защитой нейтральных шлаков. Такая сталь была известна под названием *литой* и назначалась преимущественно на инструменты. Когда было введено производство пудлинговой стали, вестфальские заводы Круппа и Бохум ввели производство более дешевой и сравнительно мягкой тигельной стали, главнейшим материалом для получения которой послужила пудлинговая сталь. Как сравнительная дешевизна такой стали, так и ее мягкость сделали возможным применение ее в выделке некоторых железнодорожных принадлежностей (например, бандажей, осей, рессор и

т. п.); в то же время на заводе Круппа, а вслед затем в России на Обуховском и Пермском тигельная сталь применена к изготовлению артиллерийских орудий, снарядов, ружейных стволов и железнодорожных принадлежностей.

При употреблении пудлинговой стали вместо цементной можно также получить твердые сорта тигельной стали, прибавляя в тигельную шихту обуглероживающие вещества, по преимуществу зеркальный чугун, однако в последнем случае сталь не обладает такими высокими качествами, как в первом случае. Разница заключается главнейше в том, что цементная сталь содержит несравненно меньше посторонних и вредных для стали примесей, нежели пудлинговая сталь и зеркальный чугун, а потому в последнем случае состав стали значительно удаляется от того идеального состава, который выражается соединением лишь двух элементов — железа и углерода.

Несколько лучших результатов достигают плавкою в тиглях хорошего мягкого железа с прибавкою древесноугольного порошка или чистого графита.

При плавке обыденных сортов стали в тигле иногда совершается в нем весьма сложный металлургический процесс — и не только обуглероживание железа, но и восстановление железа из руды и свежевание чугуна, что зависит от состава шихты, заложенной в тигель. Хотя давно было известно, что при смешении чугуна с окислами железа можно получить более или менее твердую сталь, однако до 1855 г., когда Ухациус начал вводить такой способ для получения стали в тиглях, он не применялся в большом виде при заводском производстве. Шихта Ухациуса составляется из чугуна, железной руды и флюса. Чугун, предпочтительно проплавленный на древесном угле из чистых и богатых руд — магнитных, шпатовых или гематитовых, разбитый на мелкие куски или дробленый в воде, мешается в различных пропорциях с чистою измельченною и хорошо обожженною железною рудою или же с кузнечною окалиною и закладывается в тигли с прибавкою флюса (для образования надлежащих качеств шлака); флюсом служит перекись марганца, иногда с прибавкою чистой глины и щелочей; при получении мягких сортов стали в шихту прибавляется и железо.

Для стали средней твердости Ухациус дает следующий состав шихты:
на 1 часть дробленого чугуна,
$^1/_4$ часть шпатового железняка (обожженного),
$^1/_{36}$ » перекиси марганца,
$^1/_8$ » мягкого железа.

В этом виде способ Ухациуса практикуется с большим успехом на некоторых шведских заводах, где обилие чистых руд и хорошего древесноугольного чугуна.

В других же местах употребляют несколько измененный способ, а именно: железной руды прибавляют лишь столько, сколько необходимо для окисления кремния, заключающегося в чугуне, который предварительно рафинируется, главная же масса шихты составляется из пудлинговой стали, с прибавкой железа для мягких сортов. Представителем

такого способа в России служит способ Обухова, шихта которого составляется из пудлинговой стали, рафинированного чугуна и магнитного железняка, иногда с прибавлением флюса — перекиси марганца; в последнее время марганец вводится в виде марганцового железа [14*].

Как бы ни была составлена шихта, необходимо иметь в виду, что стенки тигля, находясь в непосредственном прикосновении с расплавляемою сталью, могут сильно влиять на ее качества; поэтому выбор материалов для изготовления тиглей имеет важное значение в производстве литой стали.

Плавильные горшки изготовляются из огнеупорной глины, по большей части с примесью графита. Так как стенки тигля не только должны выдерживать высокую температуру, но и не давать трещин и не раздаваться от напора жидкого металла, то только продолжительные и тщательные опыты над известными сортами глин и их смесями в различных пропорциях могут установить правильное производство тиглей. В видах уменьшения стягивания объема и образования трещин, а вместе для увеличения огнеупорности тигельная масса составляется главнейше из обожженной глины, с прибавкой сильно высушенной необожженной, с примесью графита и иногда древесноугольного порошка или кокса [33]. Материалы эти растираются в порошок, просеиваются и тщательно перемешиваются; затем из них затворяется густое тесто на воде, хорошо промешивается в мяльных машинах или ногами, потом формуются горшки или вручную, или при помощи пресса, затем тигли просушиваются при постепенно и медленно возвышаемой температуре в особых сушильнях в продолжение 4—5 и более недель; на плавку тигли идут прямо из сушил.

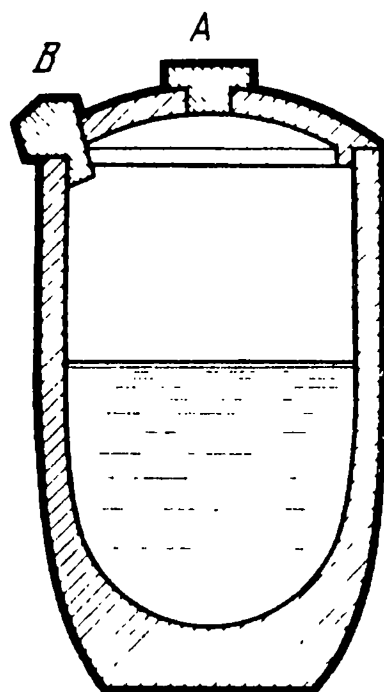
Тигель имеет форму, показанную на фиг. 43. Вместимость тигля в большинстве случаев составляет около 300 куб. дюймов, причем количество расплавляемой в нем стали достигает 90 фунтов. Сверху тигель накрывается крышкой с двумя отверстиями, закрываемыми пробками из тигельной массы: отверстие A посредине крышки служит для наблюдения за плавкою стали, а отверстие B у самого края тигля служит для выливания готовой стали при отливке.

Топливом при расплавлении стали служит непосредственно древесный уголь или кокс или же газ, получаемый из каменного угля, дров или торфа. В первом случае тигли помещаются в горны с нижним дутьем или самодувные, а во втором — в пламенные регенеративные печи.

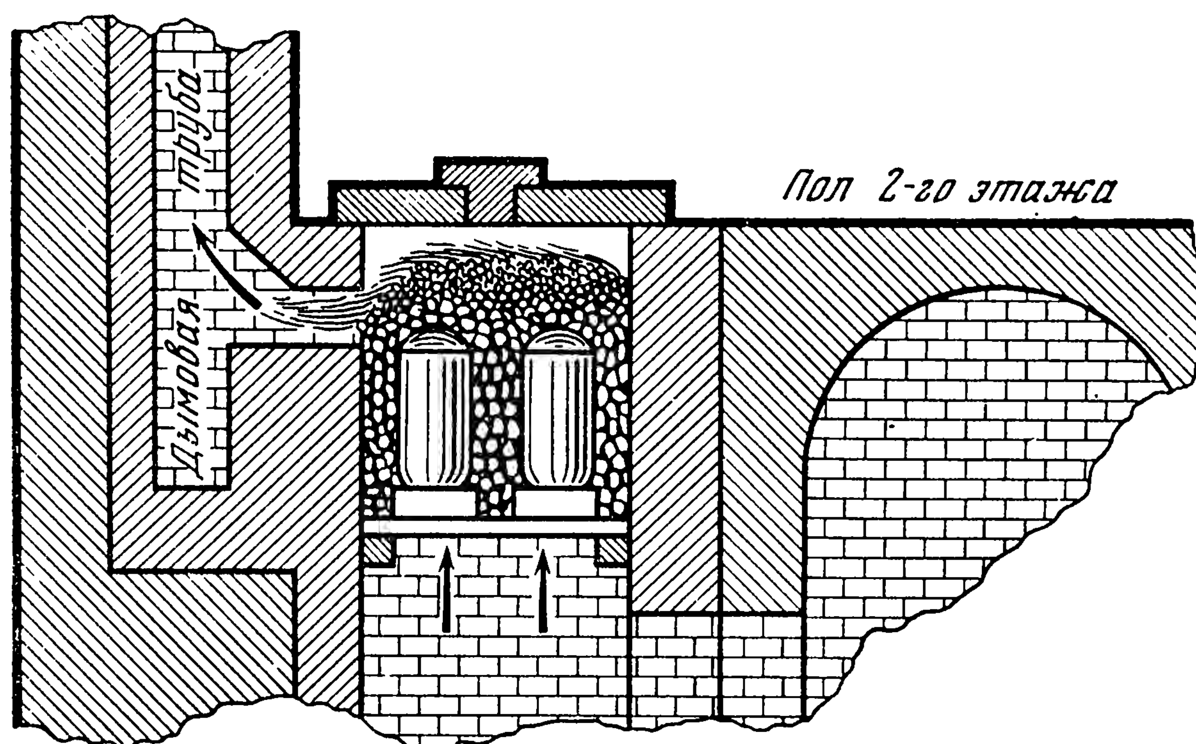
Вид коксового самодувного горна представлен на фиг. 44. В горне помещается или один или несколько тиглей, чаще бывают двух- и четырехместные горны; выгоднее в экономическом отношении четырехместные,

---

[33] На некоторых заводах в тигельную массу не примешивают углеродистых веществ и ограничиваются только смесью различных глин; в таком случае при плавке стали происходит заметное уменьшение в ней углерода. Дело в том, что кремнезем стенок тигля действует окисляющим образом на углерод стали, причем кремний восстанавливается и входит в состав стали, а углерод улетучивается в виде углеродной окиси; если сталь очень долго остается в тигле в расплавленном состоянии, то значительно обогащается кремнием и обедняется углеродом; такому обеднению противодействует прибавка углерода в тигельную массу.



Фиг. 43



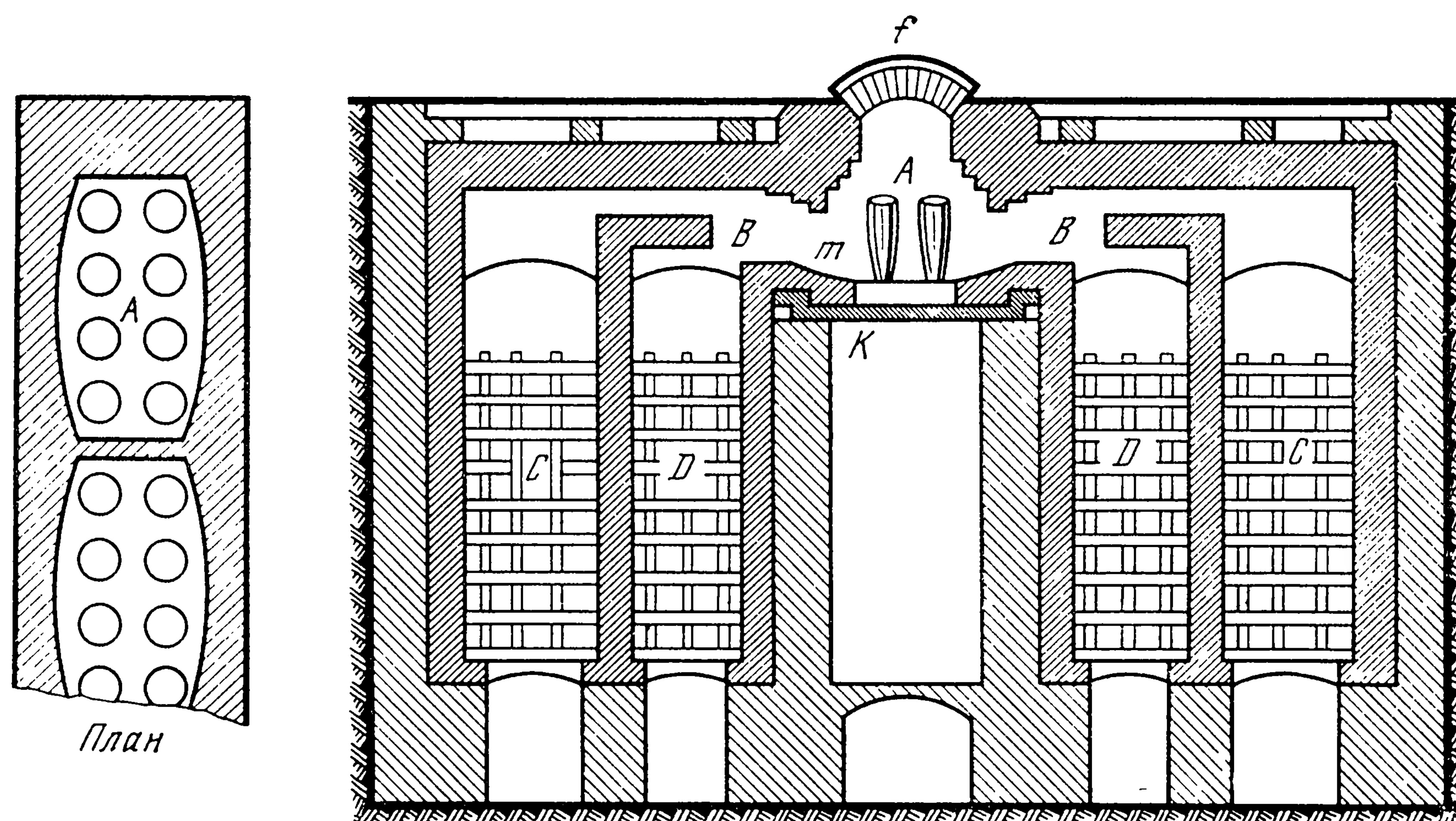
Фиг. 44

так как в них расход топлива на пуд стали выходит меньше, нежели в одно- и двухместных горнах. Тигли ставятся не прямо на колосники, а на особые глиняные поддоны, которые предохраняют дно тигля от охлаждения притекающим к топливу свежим воздухом до его сгорения. Кокс засыпается сверху горна, который закрывается крышкой; в крышке сделано отверстие, закрываемое пробкой и служащее для наблюдения за ходом горения кокса в горне; продукты горения выходят через боковой пролет (боровок) в дымовую трубу. Горны обыкновенно располагаются во втором этаже, вровень с полом фабрики для удобства вынимания тиглей; поднятие горнов во второй этаж обусловливается удобствами отливки болванок в большие и глубокие изложницы, установленные на полу нижнего этажа.

Шихта в тигли закладывается в мелких кусках, около $^1/_2$ фунта весом, и наполняется до верхних краев; крышка подмазывается огнеупорной глиной, чтобы печные газы не имели доступа в тигель. Огонь в горне разводится сначала медленно, при закрытом поддувале, чтобы прогревание тигля шло постепенно и чтобы он не давал трещин; после прогрева до темно-красного цвета огонь усиливают, прибавляя кокс и открывая поддувало. Плавка продолжается на сильном огне около 2—3 час. Когда сталь готова, тигель вынимают особыми клещами из горна и несут к изложнице; отняв боковую и среднюю пробки с крышки тигля, сталь выливают в форму или в жёлоб через боковое отверстие, наклоняя тигель. Обыкновенно тигель служит только на одну отливку, так как он сильно ошлаковывается от действия шлаков и древесноугольной или коксовой золы, причем стенки его сильно оплывают. В этом отношении значительно удобнее газовые печи, в которых один тигель можно употребить обыкновенно до трех и иногда даже до пяти раз.

Газовая регенеративная печь Сименса для тигельной плавки изображена на фиг. 45 в разрезе и в плане.

А — плавильное (рабочее) пространство, устраиваемое на 4, 6, 8 и более тиглей; в одной печи иногда соединяется несколько отделений, и вся печь вмещает 12, 18, 24 и т. д. тиглей;



Фиг. 45

f — крышка над рабочим пространством из огнеупорных кирпичей на железных скобах; отверстия в крышке служат для наблюдения за ходом печи;

C, *C* — воздушные регенераторы с клетками огнеупорных кирпичей;

D, *D* — газовые генераторы с клетками огнеупорных кирпичей;

K — чугунное корыто, поддерживающее под печи;

m — коксовая набойка, на которую ставятся тигли;

B — пламенные пролеты, в которых газ соединяется с воздухом и где начинается горение входящих в печь газов.

На первых порах по введении газовых печей для плавки стали в тиглях они получили большое распространение, однако не везде оказались выгодными. Дело в том, что при огромной каменной массе печи она требует большого количества топлива для ее разогрева, и если плавка идет непрерывно в продолжение недели, то расход топлива на единицу стали сравнительно с коксовыми, тем более с древесноугольными горнами, весьма незначителен; если же по условиям производства после двух-трех плавок нужно останавливать действие печи, то расход топлива ложится весьма дорого на производство. При непрерывном производстве в газовых печах на 1 пуд отлитой стали расходуется около 1,5 пуда каменного угля, тогда как в 4-местных горнах расходуется от 2 $^{1}/_{2}$ до 3 пудов кокса или от 6 до 9 пудов древесного угля. В газовых печах тигли выдерживают от 3 до 5 плавок, в сутки можно сделать от 8 до 10 плавок.

Приготовление литой стали по способу Аносова

Раньше чем установился процесс получения стали в тиглях по способу Ухациуса или Круппа, русским горным инженером Аносовым (имя которого известно всякому знакомому с историей стального дела) в начале

30-х годов настоящего столетия [15*] был введен на Златоустовском заводе комбинированный тигельный способ цементования и плавки стали, причем в тигель закладывается чистое кричное железо и ничего больше.

При цементовании железа, как мы видели выше, цементующим деятелем может быть, кроме других углеродистых соединений, также и окись углерода; следовательно, можно предположить, что если раскаленное до ярко-красного каления железо держать в атмосфере окиси углерода, то оно процементуется и тем сильнее и быстрее, чем выше температура каления. Опыт вполне оправдывает такое заключение.

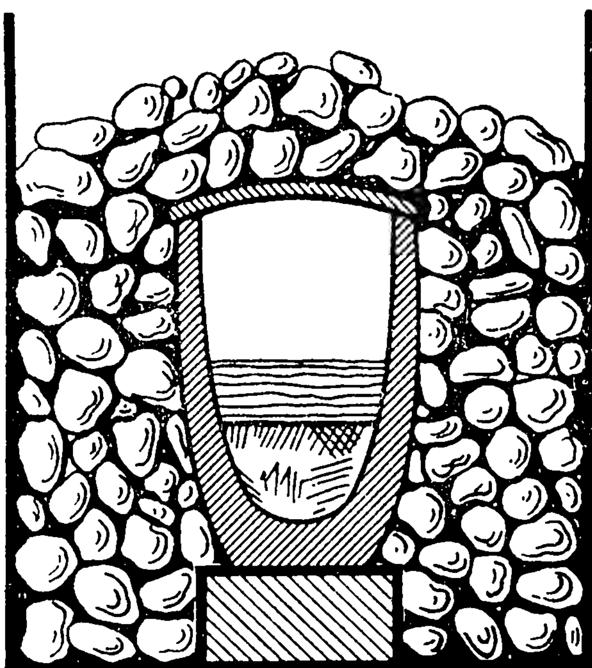
Самый процесс получения стали ведется так: тигель помещается в горне на кирпичной подкладке (поддоне) на колосниковую решетку, после подогрева докрасна он наполняется верхом кусками изрезанных полос кричного железа. Тигель оставляется без крышки, открытым, а горн засыпается углем доверху и прикрывается крышкой, в которой имеется дно для наблюдения. Верхние слои угля сгорают в окись углерода, которая наполняет все пространство в горне и циркулирует внутри тигля между кусками железа. Таким образом, в тигле совершается цементация, более или менее энергичная, в зависимости от температуры, которая держится в горне близ точки плавления стали. Наконец, цементованные куски оплавляются по ребрам, вследствие чего вся шихта в тигле оседает. Наблюдая за этим оседанием через окно, продолжают прибавлять уголь в горн по мере его сгорания, пока оседание кусков в тигле достигнет некоторой высоты, определяемой для желаемого сорта стали опытным путем; так, например, для пудового тигля оседание кусков железа на 2 дюйма соответствует очень твердой стали, однако годной на выделку инструментов. Тогда накрывают тигель крышкой, снабженной маленьким наблюдательным отверстием, засыпают горн снова углем и продолжают плавку оцементованного железа в течение 1 $^1/_2$—2 час., причем содержимое тигля окончательно расплавляется без дальнейшего изменения в содержании углерода.

Очевидно, чем больше будет допущено оседание шихты, тем тверже получится сталь; при оседании на 3 дюйма можно рисковать получить уже чугун, так энергично идет процесс цементации. Этот остроумный и весьма простой способ получения хорошей стали долгое время практиковался на Златоустовском заводе (в 30-х годах).

Необходимо, однако, прибавить, что описанный способ неприменим к коксовым горнам, так как вследствие нечистоты этого топлива, в особенности от содержания в нем серы, сталь получилась бы весьма низких качеств.

Кроме введения сталеплавильного дела и многих усовершенствований [34], значительно возвысивших стальное производство на Златоустовском заводе, Аносов замечателен также своими исследованиями и открытиями в области, занимавшей в начале нынешнего столетия многие умы Западной Европы (в том числе и знаменитого Фарадея), а именно в приготовлении *литого булата*. Холодное оружие, изготовляемое на Востоке, чрезвычайно дорого ценилось и, конечно, не за свою золотую насечку

[34] Например, прекрасно установлено производство глиняно-графитовых тиглей.



Фиг. 46

и драгоценные украшения, а за прекрасные качества клинка, материал которого представляет *узорчатую сталь*, *дамаск* или *булат* (литой вуц в Индии). В Западной Европе способы приготовления этой стали были неизвестны и лишь несколько отрывочных сведений о приготовлении вуца в Индии проникло в печать в начале нынешнего ‹XIX› столетия. Самостоятельные исследования Аносова, продолжавшиеся около 10 лет, увенчались полным успехом, и ему удалось приготовить все сорта восточного булата.

В общих чертах приготовление булата состоит в следующем. В тигле небольшой вместимости, примерно на 1 пуд, расплавляется несколько фунтов твердой стали, жидкая масса которой заполняет около одной четвертой части тигля и сверху прикрыта шлаками (фиг. 46); затем принимаются меры к тому, чтобы остывание стали происходило как можно спокойнее и медленнее, для чего тигель оставляется в плавильном горне, наполненном еще раскаленными углями; при этом все отверстия горна плотно закрываются и замазываются. Тогда сталь находится при условиях, весьма благоприятствующих ее кристаллизации, так что образуются довольно сильные оси древовидных кристаллов и довольно большие группы параллельных осей; группы эти потом срастаются. В затвердевшем виде слиток представляет приблизительно полушаровидный отрезок весом фунтов 10—12, который в Златоусте называют *«хлебец»*. На Востоке такой «хлебец», или сырец, площе и меньшего веса, всего 3—5 фунтов.

Если его разрезать, отшлифовать и вытравить шлифованную поверхность слабой кислотой, то получаются узоры прямолинейные, ясно указывающие в данном случае на кристаллическое сложение стали. Если же проковать этот слиток, по возможности не переходя при нагреве температуры *b* нашего масштаба, при которой происходит разрушение кристаллического сложения стали, то сплетения кристаллов должны изменить свой вид так или иначе, более или менее в зависимости от направления и степени вытягивания при проковке. Поэтому, выковав, например, пластинку и вытравив слабой кислотой шлифованную ее поверхность, получим узор иного вида, нежели в литом куске, с кривыми линиями (фиг. 47, 48, 49) вроде муара или вроде фибр дерева, например как у дуба [35]. Блеск вытравленного булатного клинка скорее стеклянный, нежели металлический; оттенки же бывают разные, смотря по сорту булата: желтоватый, синеватый, красноватый; высший сорт имеет золотистый отлив; эти оттенки могут быть легко счищены золой.

---

[35] Подобный узор наводят на шелковой материи и называют дамасским ввиду сходства этого узора с рисунками вытравленного булата, называемого дамаском, по имени сирийского города Дамаск, где с древних времен изготовлялись особенно славившиеся узорчатые булатные клинки.



Фиг. 47
Увелич. в 2 раза



Фиг. 48
Увелич. в 3 раза



Фиг. 49
Увелич. в 3 раза

Производство узорчатой стали требует усиленного постоянного наблюдения и преданности делу; после Аносова это производство велось на Златоустовском заводе уже не так тщательно и в настоящее время почти совсем упало. Восточные же клинки, приготовляемые единичными мастерами, очень хороши, особенно индийские и персидские. В производстве булата очень ясно обнаружилось, какой капризный материал сталь: малейшее несовершенство в процессе или нечистота материала, — и уже булат получается хуже, с мелким узором; качество булата очень хорошо выражается крупностью, красотой и отчетливостью узора, так что на Востоке прямо по этому признаку судят о достоинстве клинка.

Аносов брал для приготовления булата самое чистое кричное железо нижнетагильских заводов и обуглероживал его чистым графитом; для образования шлаков он брал чистый кристаллический доломит (коего месторождений немало в окрестностях Златоуста); кроме того, иногда прибавлял и чистой железной окалины; доломит как основной материал играл, между прочим, роль очистителя стали от кремния, фосфора и серы. Повторяя на Обуховском заводе некоторые работы Аносова и основываясь на его указаниях, я также приготовил слиток булата; на выкованной полоске после вытравки кислотой обнаружился красивый волнистый узор на темном фоне (фиг. 49).

Каким же образом кислота может произвести узор в однородном материале, какова литая сталь? Очевидно, в булате выступают два различных соединения железа с углеродом: одно легко разъедается кислотой и дает матовую поверхность, а другое остается почти нетронутым и блестит. Следовательно, в момент кристаллизации происходит нарушение однородности состава; оси кристаллов бросаются веществом, выделенным из общего состава и обладающим другими свойствами против окружающего их металла; вещество, не участвующее в бросании осей, обволакивает эти оси сейчас же, как только они образовались, и отлагается на них неко-

торым слоем. Очевидно, что для исследования химического состава булата необходимо тщательно выцарапать одно вещество так, чтобы вовсе не попало другого (или частиц от острия инструмента), и затем подвергнуть точному химическому анализу оба вещества. Ввиду того что как оси или ветви кристаллов, так и прослойки металла между ними чрезвычайно тонки, работа эта представляет почти неодолимые трудности, а потому неудивительно, что до сих пор таких исследований не произведено.

Состав и качество булата весьма много зависят от качества положенного в тигель графита; если графит не чист, не промыт, то сталь выходит гораздо хуже. Аносов доказал, что булат есть высший сорт стали и по своему составу приближается к соединению железа лишь с углеродом; распадение же стали на два различных соединения при кристаллизации играет очень важную роль при назначении такой стали на клинки: при закалке более твердое вещество сильно закаливается, а другое вещество остается слабо закаленным; но так как оба вещества в тонких слоях и фибрах тесно перевиты одно с другим, то получается материал, обладающий одновременно и большой твердостью, и большой вязкостью. Таким образом, оказывается, что булат несравненно выше лучших сортов стали, приготовленной иными способами; высокие качества его доказаны вековым опытом и вызвали целый ряд подражаний искусственным воспроизведением узоров на изделиях [16*].

Еще в древности в тех странах, где существовала фабрикация клинков из литого булата (Бухара, Сирия, Индия, особенно Персия), это дело составляло секрет лишь некоторых мастеров; и в то время прочие мастера старались подражать булатному клинку искусственным воспроизведением узора. С этой целью берутся два материала различной твердости, железо и сталь, в виде, например, тонких проволок, из них скручивают свиток, род веревки, или каната, или плетенки (в виде тесьмы); такая плетенка сваривается и проковывается под молотом в пластинку или клинок; варьируя способ сплетения проволок, мастер является хозяином узора. Это есть *сварочный булат* (иногда он называется также вуцом); он представляет также материал весьма хороших достоинств, если тщательно приготовлен, особенно если хорошо сварен, для чего нужно, между прочим, иметь легкоплавкий сварочный порошок. Ружейные стволы, приготовленные из обыкновенного прокатного круглого сварочного железа, имеют наибольшее сопротивление по длине, в ружье же требуется большее сопротивление по периферии, поперек ствола. Поэтому давно уже применяется сваривание проволочных свитков к приготовлению ружейных стволов, причем фибры или полоски располагаются так, чтобы волокна шли по окружности. Сначала в Европе брали только железные проволоки, и улучшение качеств достигали правильным расположением волокон и большей однородностью строения; когда же познакомились с вуцом, то и к стволам применили смешивание материалов различной твердости; такие стволы назывались дамаскированными, так как после вытравки на поверхности ствола появляется дамасковый узор. Это производство очень дорогое, требует искусных мастеров, тщательного складывания проволок для достижения однообразия узора, долгой и добросовестной

работы вообще; оно дает стволы очень хороших качеств и потому, в свою очередь, вызывало подражание в виде простой гравировки узора на поверхности ствола, приготовленного обыкновенным путем из литой стали или железа.

Булатные клинки восточного происхождения и по сию пору пользуются большим предпочтением перед другими, и теперь не редкость заплатить за старинный клинок две-три тысячи франков. Названия лучших персидских и бухарских сортов с хорошими крупными криволинейными узорами суть: *каратабан*, *табан*, *кара-хорассан и хорассан*.

Итак, при отвердевании стали в момент кристаллизации происходит распадение состава. Если проследить химическим анализом части слитка, раньше и позже застывающие, то в общем наблюдается заметная разница в составе: в частях, позже застывших, больше углерода, т. е. там сталь тверже, нежели в ранее затвердевших местах. Положим, что при кристаллизации стали первые ростки образует более мягкое вещество (что весьма вероятно, ибо твердая сталь легкоплавче и позже отвердевает) и что более твердое тотчас же отлагается на этих ростках; можно полагать, что часть этого более твердого соединения постепенно отгоняется вновь отбрасывающимися осями и ростками все дальше и дальше от места первоначального остывания к месту позднейшего, и там, следовательно, оно должно содержаться в большем относительном количестве. Это явление вполне аналогично появлению легкоплавких медно-оловянных сплавов в последнезастывающих местах бронзовых отливок в виде оловянных пятен; там это явление известно под названием *ликвации*; так и здесь выделение более богатого углеродом материала названо *ликвацией* стали [36]. Ликвация для стали констатирована Лавровым и Калакуцким при исследовании ими стальных пушечных болванок на Златоустовском заводе.

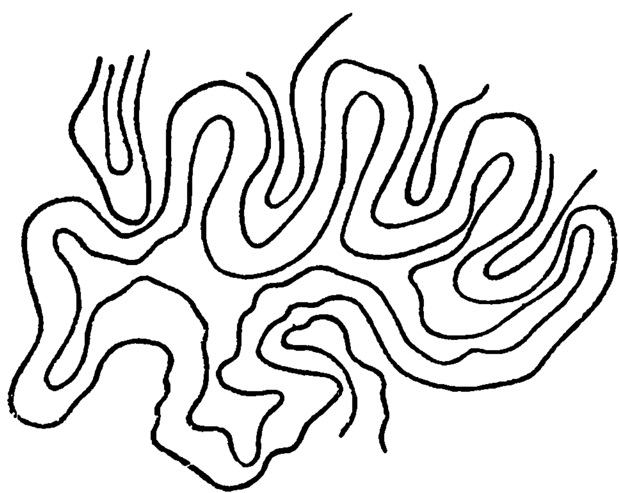
Распознавание литого материала и сварочного

Иногда бывает надобно отличить металл литой от сварочного, особенно в настоящее время, когда литая мягкая сталь и литое железо получили такое обширное распространение (рельсы, листы, бимсы, фасонное железо, угольники и пр.). Лучшее средство для распознавания — вытравка поверхности испытуемого металла слабой кислотой после опиливания окалины и не особенно даже тщательной шлифовки мелкой шлифной пилой. Дав кислоте некоторое время подействовать на ошлифованную поверхность, следует смыть ее водой и насухо обтереть поверхность металла чистой ветошкой. В *сварочном* материале обнаруживается прямое расположение пучков волокон или волосовин, идущих параллельно между собой и по направлению обработки (ковки, прокатки). Если металл *литой* и *однородный*, то получается гладкая матовая поверхность; если металл *не вполне однородный*, то видны пятна или темноватые линии, но не прямые, а волнистые, извилистые, и весь рисунок, вообще очень

---

[36] Дальнейшие подробности — в статье «Исследованпя, относящиеся до структуры литых стальных болванок» [17*].

слабый, несколько заметнее лишь на отливе к свету. Неоднородным может быть, например, бессемеровский металл от прибавления зеркального чугуна, в особенности в нерасплавленном состоянии; хотя он перемешивается и в реторте, и в разливном ковше, и при отливке в изложницы, тем не менее после вытравки нередко можно заметить легкий узор (фиг. 50). В тигельной стали от долгого стояния в жидком виде состав ее хорошо уравномеривается, и потому обыкновенно тигельная сталь, отлитая в болванки, узора не обнаруживает.



Фиг. 50

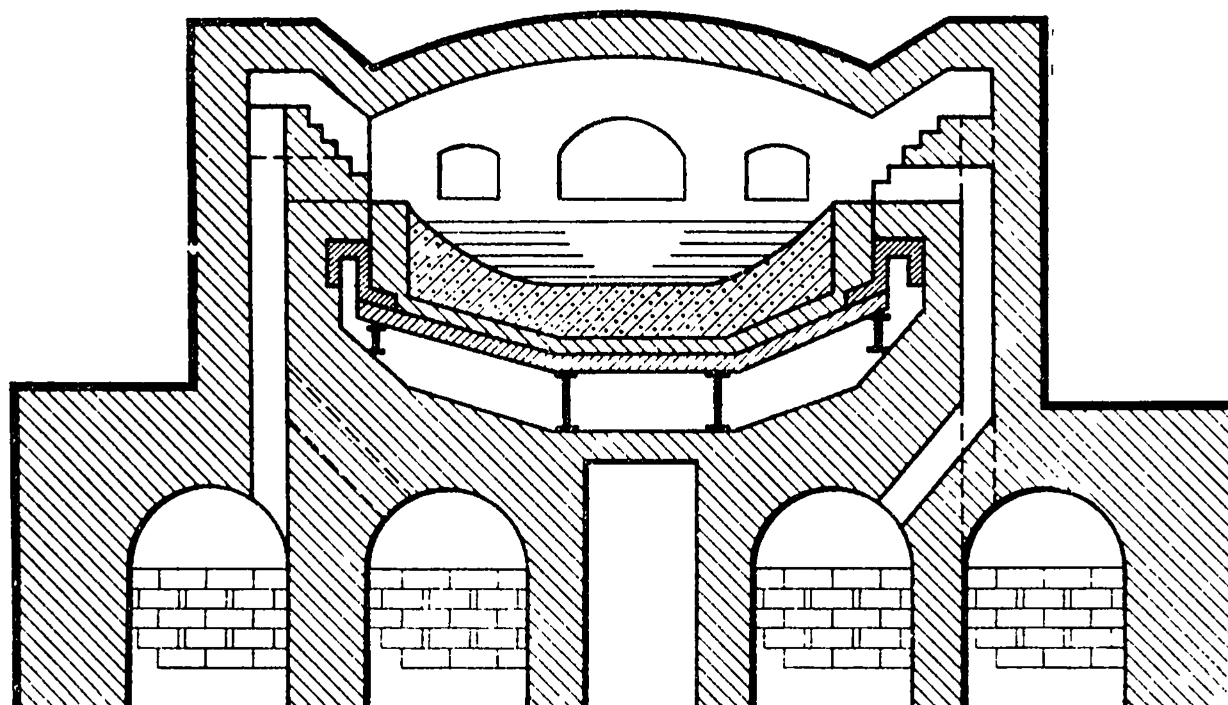
Сварочный булат легко узнать по повторению рисунка (как, например, в печатных ситцах, обоях и т. п.), хотя мастера и стараются варьировать узор, изменяя в разных местах силу ковки. В литом булате узор хотя по всей длине клинка имеет *один и тот же характер*, *но никогда не повторяется*.

Плавка стали на поду пламенной печи

Ввиду дороговизны тигельного способа получения литой стали давно уже делались неоднократные попытки плавить сталь в значительных массах на поду пламенной печи, подобно тому как плавится чугун; однако до введения газовых регенеративных печей не было достигнуто вполне удовлетворительных результатов. После же появления газовых печей Сименса инженеры братья Мартен в 1865 г. с большим успехом применили эту систему печей к плавке стали на открытом поду [18*].

Собственно нет никакого особенного мартеновского способа как металлургического процесса; эти инженеры только приспособили газовую регенеративную печь для ведения в больших размерах и на открытом поду тех же процессов, которые до того производились в тиглях или даже в пудлинговых печах; последнее с той лишь разницей, что вследствие высокой температуры печи окончательный продукт остается в расплавленном состоянии и выпускается из печи жидким, а не в виде криц, как при пудлинговании. Таким образом явилась возможность для получения стали в больших массах сплавлять чугун в известной пропорции с железом, свежевать чугун с прибавлением к нему руды или окалины, сплавлять стальной и железный лом, обрезки, пудлинговые болванки и т. п.

В большинстве случаев мартеновская печь получила применение для переплавки старых рельсов, бандажей, осей и т. п. предметов, уже бывших в употреблении, с прибавкой чугуна и руды. В настоящее время на всяком сталелитейном заводе мартеновская печь сделалась необходимостью, потому что большое количество накопляющихся крупных стальных обрубков и бракованных болванок литой стали может быть легко переплавлено без предварительного измельчения, так как в мартеновскую печь в случае необходимости можно закладывать куски до 100 или более пудов весом.



Фиг. 51

Ввиду того что инженеры Мартен всецело воспользовались принципом газовых регенеративных печей Сименса, печь эта получила название сименс-мартеновской. Общий вид разреза печи представлен на фиг. 51.

Металл плавится на поду, набитом из чистого кварцевого песка, набойка лежит непосредственно на слое огнеупорных кирпичей, одевающих чугунные плиты, сложенные корытообразно и опирающиеся ребрами на чугунные балки, расположенные на кирпичных столбиках. Под печью расположены регенераторы; воздушные и газовые каналы от регенераторов проводят в печь газы и воздух попеременно с двух противоположных концов; свод печи несколько опускается к середине, чтобы газы проходили непосредственно над поверхностью металла и возможно сильнее разогревали его; в настоящее время, однако, такого опускания свода не делают, так как от этого сильно отекает середина свода, теплоты же вполне достаточно и при прямом своде.

Вместимость сименс-мартеновских печей обыкновенно от 5 до 10 *т*, для производства же больших отливок устраивают весьма большие печи, вместимостью иногда свыше 30 *т*. В настоящее время материалы, назначаемые для расплавления, обыкновенно закладываются без предварительного подогрева, так как устраивавшиеся прежде подогревательные каморы оказались бесполезными.

Плавка ведется обыкновенно следующим образом. В раскаленную добела печь забрасывают сначала чугун (для образования растворяющей ванны), который тотчас же расплавляется; не дожидаясь конца расплавления всего чугуна, забрасывают остальную шихту [37]. Когда все расплавится, стараются перемешивать ванну для равномерности состава во всех ее частях и время от времени берут железной ложкой пробы металла. На поверхности ванны плавает, смотря по составу шихты, более или менее

[37] Каждый завод, смотря по местным условиям и запасам того или другого материала, изменяет относительное количество чугуна, железа, стального лома, пудлинговых болванок, руды, окалины и т. п., придерживаясь, однако, того правила, чтобы средний состав смеси содержал несколько больший процент углерода и марганца против желаемого продукта, так как во время плавки постоянно происходит окислительный процесс на счет свободного кислорода в печных газах.

толстый слой шлака, через который и передается окислительное действие печных газов на металлическую ванну. Как и при пудлинговании на сталь, здесь стараются держать шлаки, слабо действующие на ванну, — марганцовистые, что достигается прибавлением зеркального чугуна как в первоначальную, растворяющую, ванну, так и время от времени при дальнейшем ходе плавки. В конце плавки для освобождения металла от растворившихся в нем окислов и для введения нужного количества углерода, как и при бессемеровании, прибавляют в ванну зеркального чугуна или ферромарганца. Выпуск металла производится в боковое окно, сделанное спереди печи; выпущенный в большой разливной ковш, металл разливается по формам или изложницам.

Плавка в сименс-мартеновских печах, если идет непрерывно одна за другой, — весьма экономична; в сутки легко делается 3 плавки, причем на 1 *т* отлитого металла расходуется от 0,5 до 0,6 *т* каменного угля.

В этой печи так же, как и при бессемеровании, различают два процесса — кислый и основной, смотря по составу набойки пода и соответственному составу шлаков, при этом имеют место те же рассуждения по отношению к выделению фосфора, что и при бессемеровании. В последнем случае, при обесфосфоривании в мартеновских печах, приготовляют преимущественно самую мягкую сталь и особенно мягкое *литое железо* с содержанием углерода менее 0,1%.

Нейтральная огнеупорная набойка. В сименс-мартеновских печах при основном ходе плавки (дефосфорации) набойка пода должна быть основная, как и в основной бессемеровской реторте. Так как при основной набойке в бессемеровском аппарате и под, и боковые стенки набиваются из одного материала, то там не встретилось таких неудобств, как в сименс-мартеновской печи. Дело в том, что при стенках печи, выкладываемых из кварцевого кирпича (динаса), основная набойка пода печи приходит в прикосновение с кремнеземистыми стенками, что при очень высокой температуре печи вызывает химическое взаимодействие кремневой кислоты кирпичей и оснований (извести и магнезии) доломитовой набойки пода; стенки печи и набойка в поясе их соприкасания сильно оплавляются и переходят в шлаки, оплывшие места требуют постоянных поправок и мешают правильному ходу плавок. Это обстоятельство привело к отысканию набойки третьего рода — нейтральной, которая может быть употреблена и при кислом, и при основном процессе.

Такими свойствами обладает хромисто-железная руда, хромистый железняк, который есть очень прочное и почти вовсе неплавкое соединение окиси хрома (как кислотный радикал) и закиси железа (как основание); даже при самых высоких температурах, достигаемых в современных металлургических печах, ни кремнезем, ни кислые шлаки, ни средние силикаты, ни даже основные шлаки и самые сильные основания, каковы известь и магнезия, не действуют на эту руду разъедающим образом, не оплавляют ее [38]. *Хромистый железняк* ввиду таких особенных свойств был применен

[38] Означенные качества присущи лишь чистой хромистой руде, в которой не включено пустой породы и вредных примесей.

прежде всего на выкладку пояса, разделявшего основную набойку пода мартеновской печи от кварцевых стенок ее; в конце 80-х годов <XIX в.> применили хромистый железняк к выкладке стен печи и набойки пода как в мартеновских, так и в других печах. Для некоторой связи прибавляется около 1% извести, после чего масса подвергается сильному обжигу.

Применение нейтральной огнеупорной массы может быть эпохой в металлургических производствах, в особенности если она будет введена для фабрикации огнеупорных тиглей вместо графитово-глиняной массы, тем более, что хромистый железняк при чрезвычайной огнеупорности не изменяет размеров [39] от больших колебаний температуры, как это замечается в нынешнем тигельном составе, и потому не трескается в жару.

Получение стали децементацией (производство ковкого чугуна)

Опишем еще один способ приготовления стали, называемый *обратным цементированием* или адусированием [40]. Этот способ основан на том, что железо, сильно пропитанное углеродом, оставаясь продолжительное время при высокой температуре в окисляющей, но весьма медленно действующей атмосфере, теряет понемногу свой углерод, само при этом не окисляясь. Явления цементирования и адусирования были подробно описаны Реомюром. Достойно замечания, что этот гениальный наблюдатель явлений природы издал собрание своих мемуаров по этим вопросам в 1722 г., когда кислород еще не был открыт и понятия о химических явлениях были еще самые туманные: алхимия пребывала в полной силе. Однако его работы весьма замечательны, и до сего времени знакомится с ними всякий, кто занимается научным исследованием стали [19*]. Существовавший с тех пор способ получения изделий из стали или железа адусированием чугунных изделий получил особенное развитие в последние 25—30 лет, когда возбужден был вопрос о возможно дешевом приготовлении мелких слесарных изделий. В самом деле, отливка весьма сложных форм из чугуна не представляет особых трудностей и требует сравнительно очень незначительной затраты времени и труда, в особенности если по одной и той же модели отливается большое количество одинаковых изделий. Если такую чугунную отливку подвергнуть процессу медленного окисления для уменьшения количества содержащегося в металле углерода до одинакового со сталью средней твердости или даже с самой мягкой, причем металл приобретает ковкость и вязкость, то таким путем можно обходить самую трудную и дорогую механическую обработку ковкой, штамповкой и т. п., оставляя лишь только окончательную отделку, если она нужна для данного предмета. Очевидно, наибольшая выгода такого способа фабрикации выразится в применении к мелким фигурным изделиям, так как если предмет велик (или, точнее, очень толст), то для совершения процесса децемен-

---

[39] Вероятно, будет применен к устройству пирометра.

[40] Adoucir — размягчать; чугун, теряя углерод, становится менее твердым и приобретает ковкость.

тации во всей его массе потребуется долгое время, и так как все это время для поддержания высокой температуры необходимо вести сильную топку, то расход топлива будет чрезмерен и выгоды способа уничтожаются. Мелкие же литые чугунные предметы в сравнительно короткое время приходят в ковкое состояние и, следовательно, не требуют больших расходов.

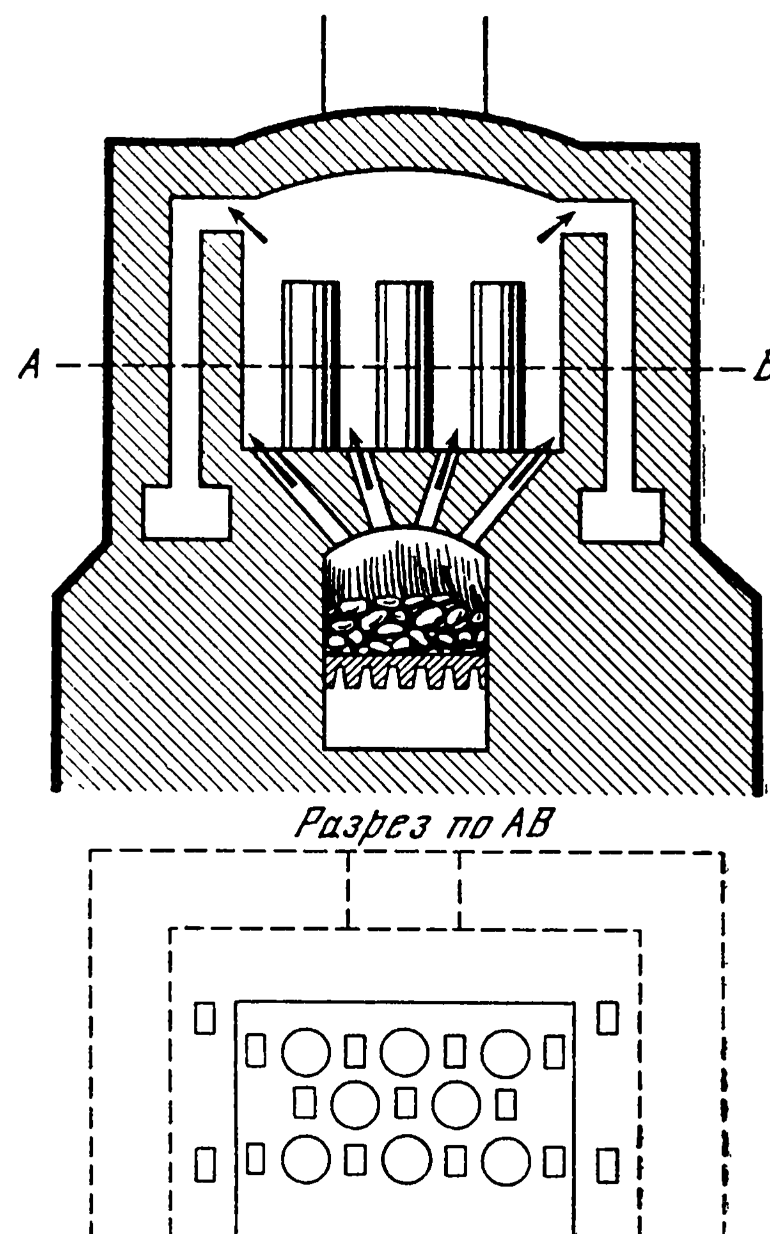
Определяя железо, сталь и чугун, мы говорили, что на ковкость стали сильно влияют посторонние примеси, особенно кремний, который главным образом обусловливает ранний переход стали в чугун (если считать ковкость признаком, по которому первая отличается от последнего). Все посторонние примеси чугуна, помимо углерода, при медленном адусировании не будут окисляться во время этого процесса. Если взять идеально чистый чугун, т. е. углеродистое железо, то можно надеяться получить хорошую сталь, ибо продукты окисления углерода газообразны и будут немедленно удаляться наружу. При цементации железа в сталь мы видели, что даже твердый углерод довольно легко перемещается в массе железа, тем скорее можно быть уверенным в движении газов. Может быть, при адусировании, так же как и при цементации, лишь атомы твердого углерода перемещаются постепенно кнаружи. Вспомним, что показывает наблюдение излома полосы во время цементации железа: сначала появляется снаружи довольно резко ограниченный слой углеродистого железа, который постепенно утолщается по направлению к центру. При адусировании процесс можно представить себе таким образом: в первый момент результатом обезуглероживания является снаружи слой железа или более или менее мягкой стали (смотря по температуре и по энергии окисления), соседний с ним внутренний слой представляет сильно углеродистое железо; такое же соседство и при таких же условиях существует и в цементуемой полосе железа, только там расположение слоев обратное; следовательно, и здесь может иметь место такое же явление — движение частиц твердого углерода от слоя, более углеродистого, к слою, менее углеродистому; в данном случае направление движения идет изнутри кнаружи. Явление это постепенно распространяется внутрь и прекращается, когда вся масса будет содержать углерода мало и в одинаковой степени, определяемой температурой, при которой совершается процесс.

Что касается последовательности самого процесса выделения углерода из чугуна, то она остается недостаточно выясненной. Исследования Форкиньона и отчасти Ледебура дают повод заключить, что под влиянием продолжительного прокаливания углерод закала переходит в углерод карбида, а этот последний — в углерод отжига, который непосредственно окисляется, улетучиваясь в виде окиси углерода; углерод же, бывший первоначально в чугуне в виде графита, остается почти вовсе без изменений. Поэтому для получения изделий хорошего качества их следует отливать из белого чугуна, углерод которого не дает графитового остатка. Другие элементы, как кремний, марганец, фосфор, сера, медь, остаются в адусируемом чугуне почти без изменений, а потому для получения стали этим путем нужно брать по возможности чистый и притом белый чугун, содержащий по возможности лишь те примеси, как, например, кремний или фосфор, которые служат для разжижения расплавленного чугуна и,

следовательно, для хорошего заполнения формы при отливке, однако кремния лишь около 0,5%, а фосфора не более 0,2%.

Если вещь отлита без пороков, то после адусирования она мало отличается от стальной или железной; однако в отличие от настоящей стали или железа такому материалу присвоено название *ковкого чугуна*. Таким способом начали прежде всего приготовлять слесарные изделия: ключи, замки, цепочки, мелкие украшения, части ружейного замка и т. п., что намного удешевило это производство; в настоящее время пошли дальше: из ковкого чугуна изготовляются довольно крупные части сельскохозяйственных машин, даже зубчатые колеса для молотилок и конных приводов; отливаются целиком маленькие оси с колесами и бандажами для рудничных и землевозных вагончиков и т. п. Но так как почти всегда очень трудно избавиться от посторонних примесей в децементуемом чугуне, то продукт в большинстве случаев уступает по качествам железу и стали, полученным иными способами, и нельзя рассчитывать на более широкое распространение этого способа, пока не удастся найти средства получать дешево весьма чистый белый чугун для отливок.

На заводах для децементации употребляется вещество, окисляющее очень медленно, чтобы не было быстрого выжигания углерода с поверхности вещей и образования железной окалины; вещество это обыкновенно называется там «децементующим» или просто «децементатором». Простым и дешевым средством оказывается обожженная чистая шпатовая железная руда (в виде крупного порошка), которая представляет почти чистый окисел железа, не содержащий серы; но так как чистая окись железа действует слишком сильно окисляющим образом, то при заряжении печей употребляют уже бывший в деле порошок и к нему прибавляют лишь 25—30% свежей руды или же поверхность адусируемых вещей покрывают тонким слоем графита. За неимением шпатового железняка можно употреблять и другие железные руды или окалину, лишь бы в них не содержалось серы или, по крайней мере, было ее мало. Процесс ведется в сосудах вроде тиглей, муфелей, ящиков или цилиндров. Чтобы кислород воздуха не имел доступа (иначе на изделиях образуется окалина), наполняют тигель до самого верху попеременными слоями чугунных изделий и порошка, закрывают крышкой, замазывают глиной и помещают в печь, подобную цементовальной, т. е. в которой пламя из топки входит в рабочее пространство печи мелкими струями и встречает свод с небольшими отверстиями, заставляю-



Фиг. 52

щий пламя медленно циркулировать около тиглей и равномерно их нагревать.

Материалом для тиглей, цилиндров или ящиков служит в большинстве чугун; сосуды эти делаются толстостенными, чтобы увеличить продолжительность их службы; для предохранения от чрезмерного окисления поверхности горшков их смазывают глиной или известковым молоком как снаружи, так и изнутри.

Отверстия в своде топки над колосниковой решеткой расположены в шахматном порядке (фиг. 52); тигли ставятся на под печи в промежутках между этими отверстиями. Пламя, прошедшее через отверстия, медленно циркулирует между сосудами и спускается по вертикальным каналам в горизонтальные дымовые ходы, окружающие печь и открывающиеся в трубу. В настоящее время на некоторых заводах устраивают муфельные печи в виде больших реторт с пламенными ходами в окружающих стенках. В таких печах не употребляют уже ни горшков, ни ящиков; садка делается прямо в печь, причем каждый слой предметов пересыпается децементующим порошком. Нагревание ведется очень медленно и постепенно. Сначала в течение 1—2 дней печь нагревается до ярко-красного каления (около 1000°), далее это каление поддерживают 4—8 дней, смотря по толщине предметов, обыкновенно не толще 2,5—3 *см*, потом закрывают поддувало и заглушают печь для охлаждения в течение 2—3 дней. Если при достаточно чистом материале децементация прошла насквозь, то полученный продукт очень ковок, легко сваривается и выдерживает всевозможные пробы в холодном виде, как хорошее железо или мягкая сталь.

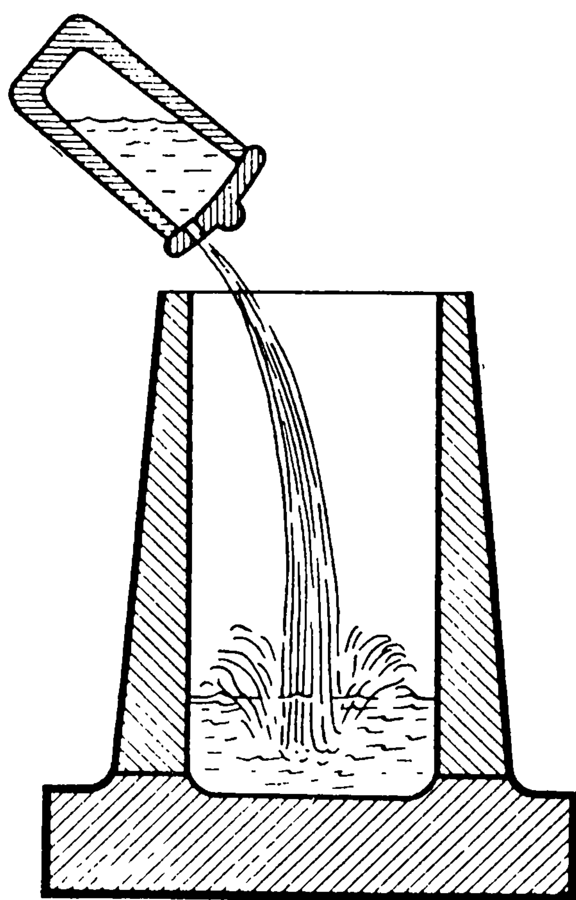
В настоящее время, когда имеется способ рафинирования чугуна на основном поду, причем из него выделяются почти весь фосфор и сера, описанное выше производство должно получить большое значение [20*].

ОТЛИВКА СТАЛИ

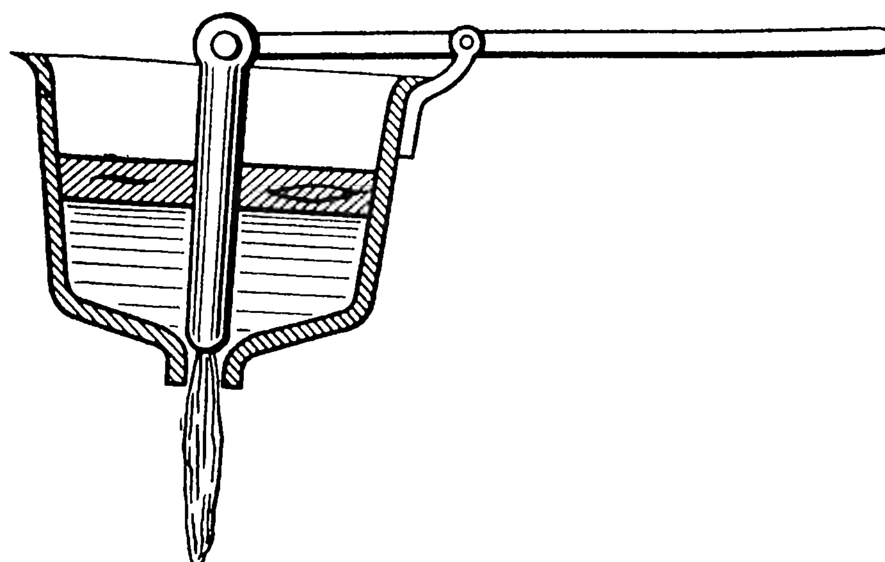
Для отливки металла в формы нужно иметь различные средства и в данном случае они должны быть приспособлены специально к отливке стали в тех видах, чтобы избежать прерывания струи и вливания в формы плавающих на поверхности стали шлаков.

Только в сравнительно редких случаях стальному изделию сразу придают надлежащую форму отливкой, а почти всегда отливают кусок (слиток, болванку) простой призматической или цилиндрической формы и затем подвергают его дальнейшей механической обработке. Для приготовления таких слитков или болванок служит металлическая (обыкновенно чугунная) изложница, цилиндрической или призматической формы, помещаемая на чугунном днище.

Способы отливки зависят от некоторых условий. Если отливка не превосходит 8—10 пудов, то можно вылить прямо в форму несколько тиглей друг за другом (фиг. 53) или по два, с двух сторон одновременно. Так как тигель обыкновенно заключает около двух пудов жидкой стали, то, чтобы не выливать половину тигля, вес отливки выражается четным числом пудов.



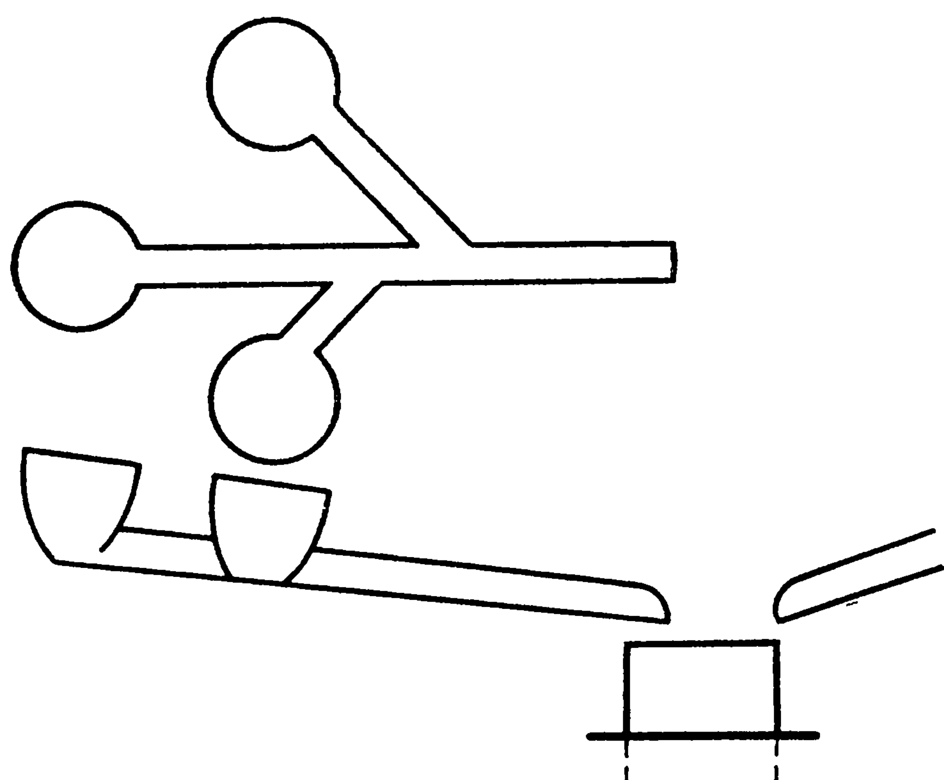
Фиг. 53



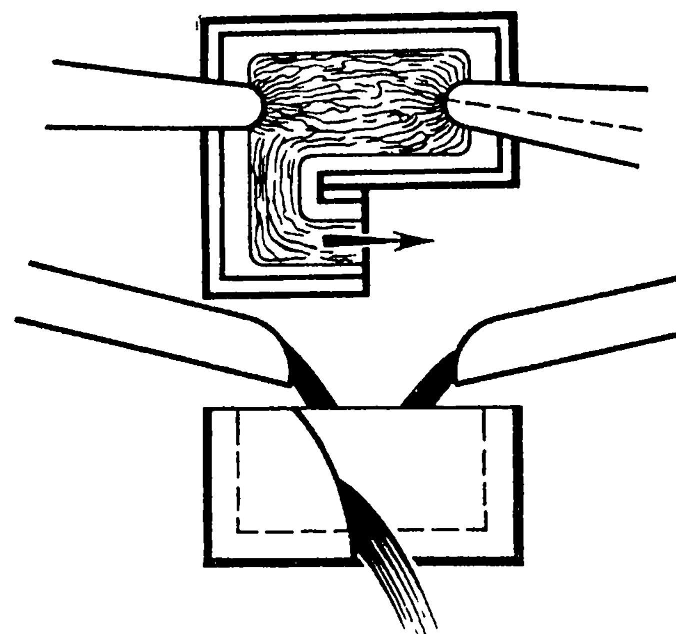
Фиг. 54

При большом весе слитка уже понадобятся некоторые приспособления. Имея в виду, что для отливки большой болванки или слитка форма должна быть значительных размеров и охлаждающее влияние ее на вливаемую сталь должно быть велико, а с другой стороны, сталь, имеющая довольно высокую температуру плавления, бывает мало перегрета за точку плавления, легко понять, что время, по прошествии которого содержимое одного тигля, вылитое в форму, затвердеет, придется считать только секундами. Содержимое следующего тигля, вылитое даже после ничтожного перерыва, уже не может перемешаться с первым, так как встречает твердую поверхность уже застывшей стали; оно даже не может вполне привариться к этой поверхности, ибо при таких высоких температурах сталь быстро окисляется с поверхности и покрывается окалиной; вместо сплошного слитка тогда получился бы столб дурно соединенных между собой пластов или лепешек. Во избежание этого необходимо наблюдать, чтобы струя во все время отливки была непрерывной, чтобы поверхность жидкого металла в изложнице не успевала застывать даже по краям около стенок во время наполнения формы. При малых отливках это достигается тем, что рабочий держит свой тигель наготове около формы, пока его предшественник, стоящий рядом или напротив, выливает свой тигель. При этих простых приемах рабочий быстро опрокидывает тигель так, чтобы уровень, разделяющий шлаки от стали, поместился выше отливочного отверстия; когда же сталь выльется и шлаки подойдут к отверстию, он так же быстро приподнимает тигель обратно.

Когда вес отливаемой болванки превосходит 8—10 пудов, тогда ставят над изложницей ковш с отверстием в дне (фиг. 54); ковш этот железный, небольших размеров, внутри он должен быть вымазан набойкой и предварительно разогрет, затем в него выливают сталь из тиглей, а уж из него в изложницу. Отверстие в дне закрывается пробкой, которая подвешена к рычагу, укрепленному к краю ковша. Действуя рычагом, рабочий регулирует струю, сообразуясь с подносом следующих тиглей, и не дает ей прерываться.



Фиг. 55



Фиг. 56

Если отливаемая болванка довольно велика (приблизительно 200—300 пудов), то для отливки приспособляется слегка наклонный жёлоб, нижний конец которого — над формой, а другой — в стороне, на последнем имеется ковшеобразное углубление, к которому рабочие подходят попарно и выливают металл из тиглей. При дальнейшем возрастании веса болванки жёлоб имеет отростки (фиг. 55), оканчивающиеся такими же ковшеобразными углублениями; при таком приспособлении получается струя весьма значительная, соответствующая, например, десятку тиглей. При самых больших отливках устанавливаются два жёлоба диаметрально друг против друга.

Приспособление одних лишь желобов имеет большой недостаток, которого не имеет малый ковш, описанный ранее: в последнем струя вертикальная и направлена по оси болванки, а струя из жёлоба имеет некоторую горизонтальную скорость, вследствие чего сталь может попасть на стенку изложницы; тогда моментально образуется на стенке настыль, очень вредно влияющая на качество отлитой болванки (образуются пузыри). Для устранения этого неудобства помещают над изложницей железный ящик, одетый внутри огнеупорной набойкой; стенка такого ящика имеет в плане вид незамкнутой лабиринтообразной фигуры (фиг. 56). В ящик льются струи из двух желобов, стоящих почти друг против друга, струи образуют водоворот и сливаются в общую струю, которая через боковой просвет спокойно льется в изложницу. В последнее время для устранения заплесков на стенки изложницы и получения чистой поверхности болванок техником Обуховского завода Посниковым предложено отливать большие болванки при помощи вставляемой в середину изложницы трубы из тонкого кровельного железа, расплавляющейся в отливаемой стали по мере поднятия ее горизонта в изложнице. Когда сталь получается в бессемеровской реторте или в мартеновской печи, то в случае потребности вылить сразу большое количество жидкого металла в одну форму уже не встречается таких затруднений, как при

тигельном способе, потому что при этом уже имеется большая ванна в несколько сот пудов, и скорее является вопрос о разделении этой массы на части.

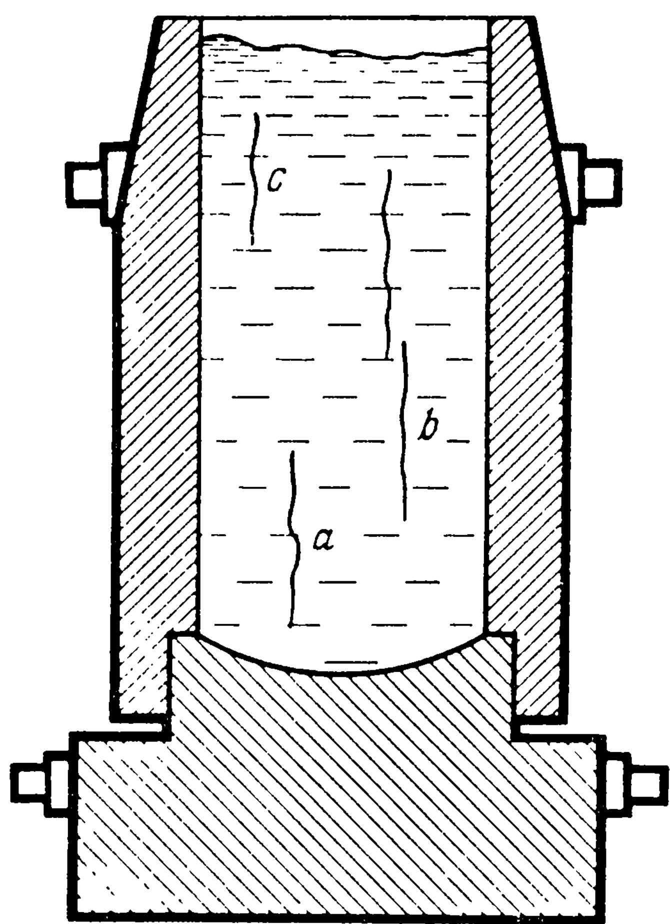
Устройство больших изложниц

Когда болванка велика, примерно в 1000 пудов и больше, то устройство надлежащей изложницы уже представляет некоторые затруднения. Что касается выбора материала для формы, то многолетний опыт показал, что лучше всего делать чугунные изложницы как наиболее стойкие, дешевые и удобные. Толщина стенок их находится в известном отношении к диаметру и высоте болванки, причем необходимо иметь в виду, что изложница должна выдержать огромный гидростатический напор жидкого металла и поглотить от него огромное количество теплоты; от такого нагревания изложница не только расширяется, но и размягчается, и сопротивление ее внешним усилиям сильно падает; следовательно, второе вредное явление усиливает первое, и от совокупности их диаметр изложницы при недостаточной толщине стенок может настолько увеличиться, что затвердевающая кора болванки, распираемая жидким металлом, не находя опоры в стенках изложницы, даст трещины.

Слишком быстрая отливка также ведет к образованию трещин в наружном слое болванки, вследствие того, что тогда вся изложница наполнится жидкой сталью раньше, нежели в нижних и средних поясах болванки успеет образоваться достаточно толстая кора для сдержания внутреннего напора жидкого столба стали. Тонкая кора, отставая от стенок изложницы вследствие стягивания объема стали при переходе в твердое состояние, а также и от расширения стенок изложницы, лишается опоры и вместе с тем не может быстро увеличиваться в толщину от замедления передачи тепла изложнице, тогда как изнутри от жидкой стали идет сильный приток теплоты; без того уже слабая кора еще более размягчается, наконец, не выдерживает напора изнутри и дает трещины. При медленной же отливке тонкою струею нарастание толщины стенки и охлаждение ее идут достаточно быстро для того, чтобы при конце отливки выдержать напор жидкой стали полной болванки.

Неравномерность охлаждения изложницы тотчас после отливки, например вследствие холодного сквозного ветра с какой-либо стороны, вызывая ускоренное утолщение и стягивание коры, с одной стороны, может вызвать трещину в коре болванки — с другой стороны. Такие трещины обыкновенно бывают близ половины высоты болванки — иногда ниже, иногда выше, как изображено на фиг. 57 (*a*, *b*, *c*).

Для хорошей отливки, как увидим дальше, необходимо, чтобы низ остывал раньше; поэтому стенки изложницы книзу утолщаются (фиг. 57), а днище делается очень толстое для ускорения отнятия теплоты. Днище делается с выступом, на который изложница садится своим заплечиком. Форму в этих случаях приходится снимать краном; ввиду этого изложница и днище имеют цапфы, а нижний диаметр изложницы делается несколько (на 0,5—1 дюйма) больше верхнего, так, чтобы болванка выходила слегка коническою для облегчения снимания с нее изложницы, вес которой



Фиг. 57

почти одинаков с весом самой болванки. При болванках приблизительно толще 40 дюймов, несмотря на большую толщину стенок изложницы, последнюю приходится стягивать еще железными обручами (бугелями), без которых, как показал опыт, в болванке иногда являются трещины. Бугеля не прилегают плотно к стенкам изложницы и распираются клиньями, так что они, омываясь со всех сторон свежим воздухом, не разогреваются так сильно, как изложница, и хорошо ее стягивают.

Ниже приведены размеры нескольких больших изложниц, при отливке в которые обыкновенно трещин в болванках не замечается [41]. При внутреннем диаметре 37 дюймов и высоте 98 дюймов толщина стенок вверху 3,5 дюйма, в середине — 7 дюймов, толщина днища — 36 дюймов; при внутреннем диаметре 49 дюймов и высоте 127 дюймов соответственные толщины: 4,5—9—52 дюйма.

Для вычисления объема изложницы на данный вес болванки надо знать удельный вес жидкой стали; однако не только этот вес не был определен с точностью, но даже до сих пор существует ложное понятие об отношении между удельными весами твердого и жидкого металла. При этом указывается обыкновенно на то обстоятельство, что твердый металл плавает на расплавленном, из чего заключают о большем удельном весе жидкого металла сравнительно с твердым, хотя весьма значительная усадка отлитой вещи или болванки против модели или формы должна была бы убеждать в совершенно противоположном. Следует полагать причину такого явления в том, что в соседстве с поверхностью погруженного тела происходит усиленное выделение газов, которые облекают плавающий кусок со всех сторон в виде пузырьков и поддерживают его в жидкости близ поверхности (подобное явление замечается, например, при растворении кусочков железа в кислоте).

Инж. Ржешотарский на Обуховском заводе в 1880 г. при моем участии определил удельный вес жидкой беспузыристой бессемеровской стали довольно близко к истинному и нашел как среднюю цифру из многих опытов 7,07139, причем самая большая из полученных цифр была 7,12017.

Для определения удельного веса г. Ржешотарский измерял объем изложницы (вместимостью на 14 пудов стали) до некоторой определенной высоты посредством налитой воды; после теплой просушки изложницы

---

[41] Если материалы, взятые для изготовления стали, красноломки или при плавке стали, например в коксовых горнах, тигли не были тщательно закрыты и в них проникали газы и попадали куски кокса, то и в таких изложницах могут получиться болванки с трещинами вследствие красноломкости металла.

и охлаждения до той же температуры, при которой измерялся ее объем, наливалась в изложницу сталь до той же высоты; затем вес полученной болванки определялся взвешиванием, а объем — погружением в воду и измерением объема вытесненной воды. Несмотря на возможные предосторожности и поправки, полученные цифры как результат чисто заводских опытов, при отсутствии точных приборов, конечно, неточны; однако как для заводской практики, так и для доказательства полной неосновательности господствующих взглядов на этот предмет результаты эти вполне достаточны и убедительны.

Таким образом, из этих опытов оказывается, что 1 пуд жидкой стали при отливке занимает в изложнице 141 куб. дюйм [42]; так как 1 пуд стали средней твердости (например, пушечной) в плотном виде при обыкновенной температуре занимает объем 128 куб. дюймов, то действительная объемная усадка стали, при переходе из жидкого состояния в твердое, с охлаждением до обыкновенной температуры, составляет 9,22%. Из взвешивания и определения объема полученных болванок г. Ржешотарский определил объемную усадку в 6,58%; таким образом, около 2,64% объема приходится на общую усадочную раковину и местные, или частные, пустоты, рассеянные по всей массе литой болванки.

Гравиметрическая плотность стальной болванки, следовательно, составляет около 131,7 куб. дюймов в пуде, или d=7,65.

Структура литых стальных болванок

Если остывание болванки происходит при вышеописанных условиях, то получается вверху слитка большая пустота, совершенно аналогичная с усадочной пустотой чугуна и называемая усадочной воронкой.

Сталь в расплавленном состоянии содержит в растворе многие газы: всего более водород, затем азот и, наконец, окись углерода [43]. Газы эти растворяются в жидкой стали, не реагируя на ее составные части. Поглощение газов начинается при некоторой определенной температуре, соседней с точкой плавления, и способность эта, как кажется, возрастает с повышением температуры; во время же охлаждения происходит выделение газов. Если бы все газы выделялись при температуре, значительно превышающей температуру затвердевания, т. е. когда сталь еще совсем жидка, то они все удалялись бы в атмосферу, всплывая кверху в виде пузырей или выходя непосредственно через свободную поверхность; тогда затвердевшая болванка не заключала бы пустот, кроме усадочных. Но, к сожалению, большая часть газов выделяется в момент, соседний моменту отвердевания, и даже отчасти в самый момент отвердевания, так что параллельно с образованием пузырей идет и нарастание отвер-

[42] Что соответствует удельному весу 7,875.

[43] Поглощение водорода жидким чугуном мы уже видели при бессемеровском процессе, где в первые минуты анализ показывает отсутствие водорода в газах, выходящих из горла реторты, хотя вдуваемый воздух содержит влажность; через 3—4 мин., когда металл насытится водородом, последний проходит сквозь ванну и содержится в выходящих газах в постоянном количестве около 2%.

девающих слоев от стенок изложницы, отчего болванка выходит пузыристой, в особенности в наружном ее слое.

Остановимся несколько на условиях выделения газов из жидкости вообще. Внешний вид этого явления зависит от скорости выделения газов; иногда выделение их происходит очень медленно, незаметным образом, только, так сказать, выдыханием свободной поверхности, без всяких пузырей; эта форма явления хорошо характеризуется выражением «жидкость *выдохлась*», употребляемым в общежитии. Так бывает, например, с шипучими напитками, хранимыми в плохо закупоренных сосудах, выделение газов в этом случае происходит все время под известным давлением, всегда немного меньшим давления их в растворе, чем и обусловливается медленность выделения; тем не менее при достаточном промежутке времени выделение бывает почти полное. Иногда же выделение происходит очень энергично, например в случае внезапного уменьшения давления (откупоривания хорошо закупоренной бутылки). Тогда во всей массе жидкости образуются пузыри, быстро всплывающие кверху, жидкость вскипает и пенится. В тех случаях, когда растворение газов в жидкости обусловливается температурою, тогда выделение их при медленном изменении температуры можно наблюдать более спокойно, причем явление выделения занимает как бы середину между крайними вышеописанными случаями. Если, например, нальем свежей речной воды в тепловатый стакан и станем наблюдать выделение растворенного в ней воздуха в теплой комнате [44], то заметим, что через несколько секунд после вливания воды в стакан на внутренних стенках и на дне последнего появляются держащиеся у стенок мельчайшие пузырьки, заметные сначала только в лупу; затем они медленно растут, и когда, наконец (при величине в обыкновенный бисер), подъемная сила превысит силу прилипания пузырей к стенкам, то они по очереди всплывают и лопаются на поверхности воды; параллельно с этим происходит и свободный выход (выдыхание) воздуха через верхний уровень воды.

Сотрясение и переливание жидкости также вызывают усиленное выделение растворенных в ней газов. Например, содержащая газы жидкость, спокойно стоявшая в откупоренной бутылке, будучи быстро налита в стакан, вновь сильно пенится. Наконец, выделение газов можно вызвать, бросив в содержащую растворенные газы жидкость угловатый или пористый кусочек твердого тела, причем быстрота выделения зависит от свойств тела.

Реомюр еще в начале прошлого столетия заметил и объяснил это явление; он рассматривает газы как сильно расширяющиеся жидкости; между прочим, он замечает, что если в жидкость бросить пористое, иглистое или щетинистое тело, то на нем начинается энергичное образование пузырьков тех газов, которые растворены в жидкости; в наибольшей степени эта способность оказалась у губчатой платины.

Итак, расплавленная сталь содержит газы, выделяемые ею усиленно при понижении температуры к точке затвердевания. При отливке имеют

---

[44] Холодная вода растворяет более воздуха, нежели теплая.

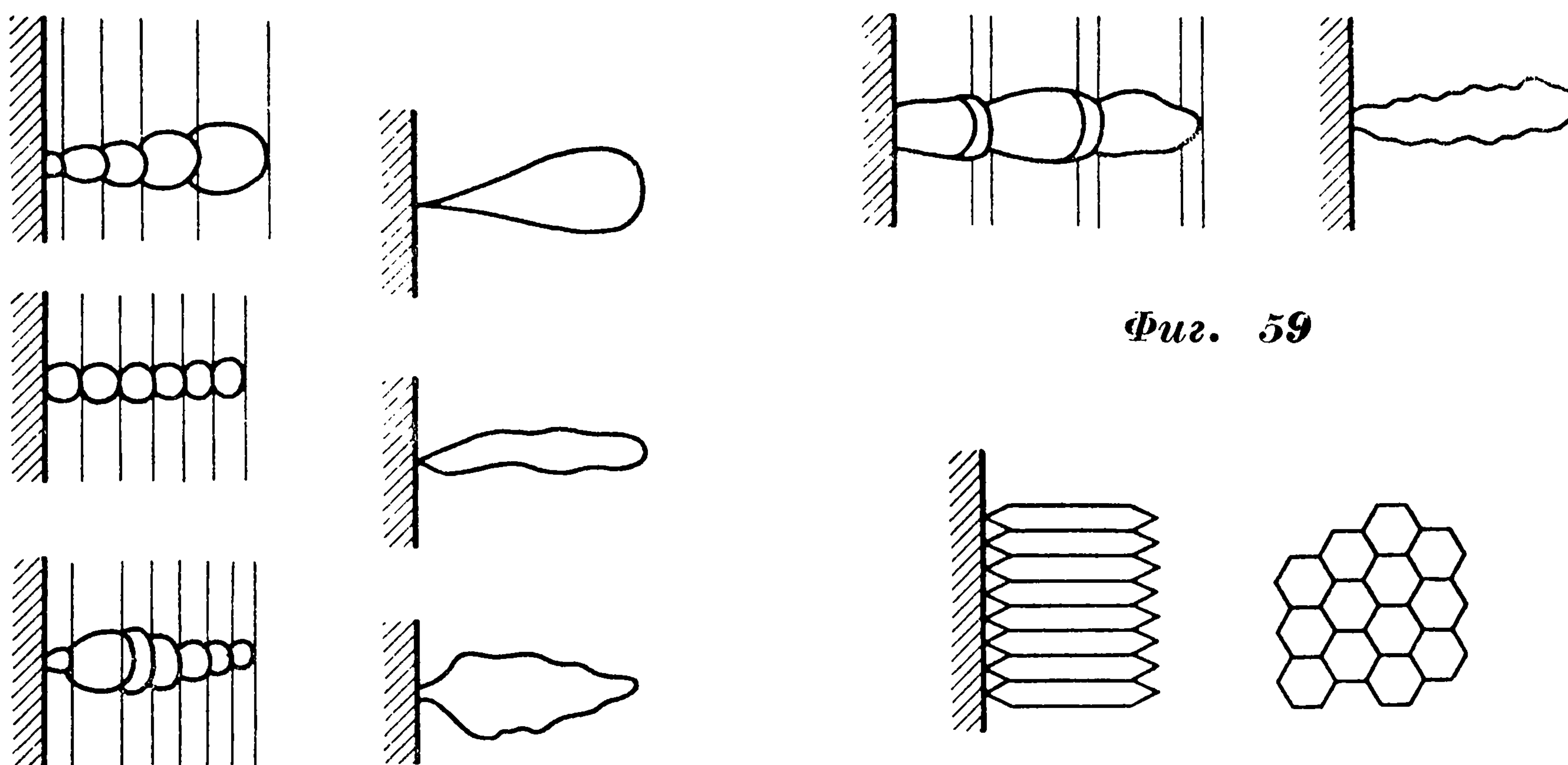
место сотрясения, переливание, взбалтывание и, самое главное, понижение температуры; поэтому происходит бурное выделение газов пузырями.

Мы уже знаем, что сталь застывает не воскообразно, а кристаллами; так сказать, в толкотне кристаллов, растущих нормально к поверхности стенок изложницы, начинается и выделение газов, появляются сначала маленькие пузырьки, которые запутываются в ветвях образующихся кристаллов, не всплывают и постепенно растут, причем дальнейшее выделение газов из соседнего жидкого металла происходит притоком их к образовавшимся уже пузырям, находящимся у стенок или у дна изложницы. Если пузырь растет быстрее, чем увеличивается толщина окружающего его затвердевающего слоя металла, то он успевает иногда настолько вырасти в сторону жидкой массы, что часть его отрывается и всплывает наверх; остаток пузыря дает повод к новому притоку в него газов и дальнейшему его росту. Так будет продолжаться, пока не выделятся все газы или же пока не прекратится выделение их, например увеличением давления. Этого можно достигнуть приемом, аналогичным закупориванию бутылки: например, покрыть поверхность налитого в изложницу металла холодной железной плитой, — тотчас от быстрого охлаждения образуется корка, которая запирает выход газам, как пробка; газы скопляются под ней (в усадочной воронке), и в короткое время давление достигает величины, достаточной для того, чтобы удержать остальные газы в растворе. Или же, закрыв тотчас после отливки изложницу герметически какой-нибудь крышкой, сквозь которую пропущена трубка, сообщить пространство под крышкой с резервуаром, содержащим газ под сильным давлением. Этими способами во всяком случае можно сильно замедлить рост пузырей.

Пузырь может расти только в жидкую часть металла, следовательно, если затвердевание опаздывает, он будет с удалением от стенки все увеличиваться в диаметре, принимая коническую форму; если затвердевание идет параллельно росту пузыря, то форма его получается цилиндрическая, если, наконец, рост пузыря замедляется, то его форма будет обратноконическая (фиг. 58) [45]. По виду пузыря можно узнать, происходило ли отрывание от него выдающихся частей во время роста: в первый момент после отрыва пузырь мало вдается в жидкую часть, и вновь образующаяся корка начинает замыкать его, а потом вследствие роста диаметр его опять увеличивается, и таким образом в его форме получаются пережимы (фиг. 59) [45]. При непрерывном образовании пузыря поверхность его не имеет такого кольчатого вида. Встречаются, конечно, и смешанные виды пузырей, и в данной болванке можно найти пузыри всех видов. При обыкновенных условиях остывания, когда пузырей очень много, они смыкаются; иногда два-три соединяются в один, теснят друг друга и принимают вытянутый призматический вид; у болванки получается ячеистая корка, в виде пчелиного сота (фиг. 60), причем направление

---

[45] С левой стороны показана последовательность образования пузырей, а с правой — окончательный их вид.



Фиг. 58 *Фиг. 59* *Фиг. 60*

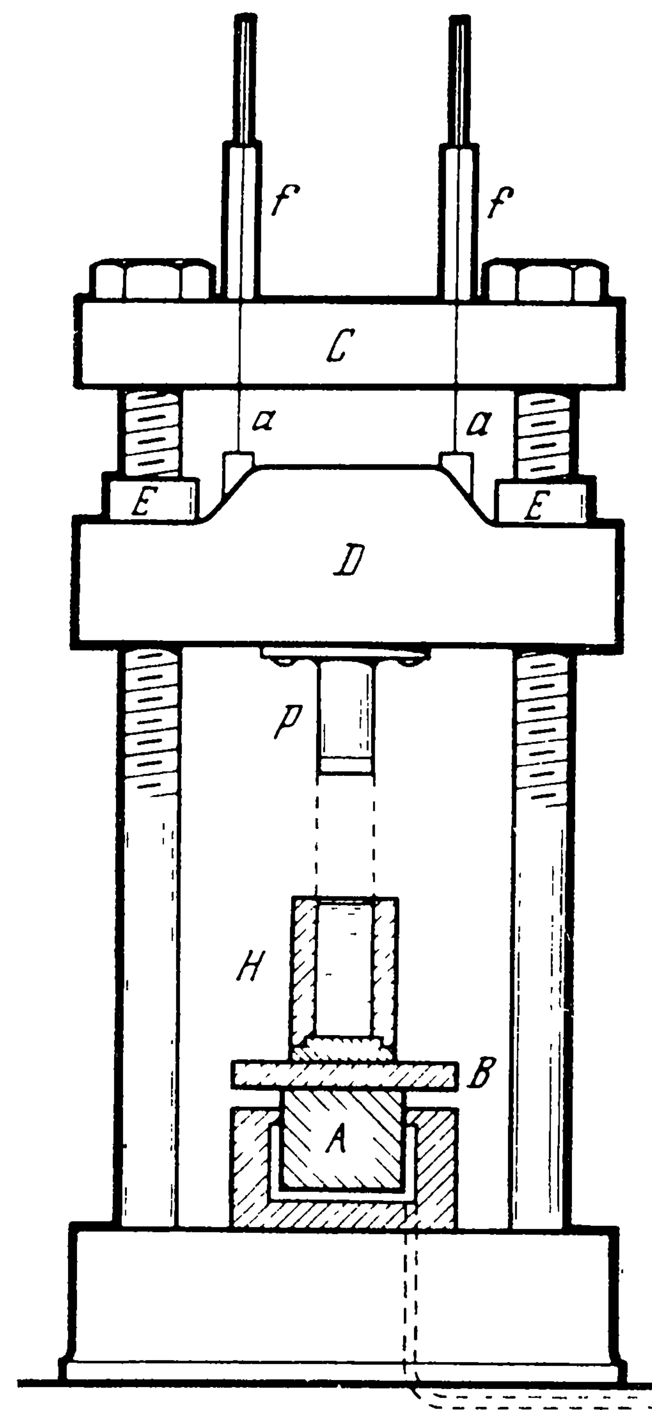
призматических пузырей — нормально к стенке с чуть заметным уклоном кверху.

Образование пузырей, делая слиток нецельным, неоднородным, составляет серьезный недостаток в литых стальных болванках, для устранения которого принимаются различные меры. Пробовали выделять газы из жидкой стали раньше, чем она попадет в изложницу, сильным понижением давления при помощи всасывающего аппарата, однако эти опыты не привели к удовлетворительным результатам. Можно употребить и обратный прием: удержать газы в растворе развитием в изложнице сильного давления над поверхностью жидкой стали. Сюда относится предложение Гэли-Газалат, который тотчас после отливки закупоривал герметически изложницу и сообщал закупоренное пространство посредством трубки с резервуаром, в котором взрывался порох. Способ этот представлял много неудобств при заводских работах, а потому не вошел в практику. Американец Джонс нашел, что если вместо пороховой камеры сообщить закупоренное пространство изложницы с паровым котлом, то по открывании клапана газы почти совершенно не выделяются, если давление пара в котле составляет около 10 *ат*. Для твердой стали, которая в расплавленном состоянии сравнительно жидка и почти не задерживает пузырей, оказалось достаточным давление в 6—7 *ат*.

Что касается усадочной воронки, то давлением газов устранить ее нельзя, ибо она образуется вследствие постоянного понижения горизонта жидкого металла от сжатия объема застывающей массы. Желая избавиться и от усадочной воронки, и от газовых пузырей, Витворт применил давление на поверхность жидкой стали в изложнице глухим поршнем, на который действуют гидравлическим прессом; такую операцию называют прессованием стали в жидком виде. Приспособление представляет в общем большой вертикальный гидравлический пресс (фиг. 61). Внизу четырехугольный чугунный фундамент (основная рама); посредине в него вставлен гидравлический цилиндр с воротником и с большим поршнем *A*

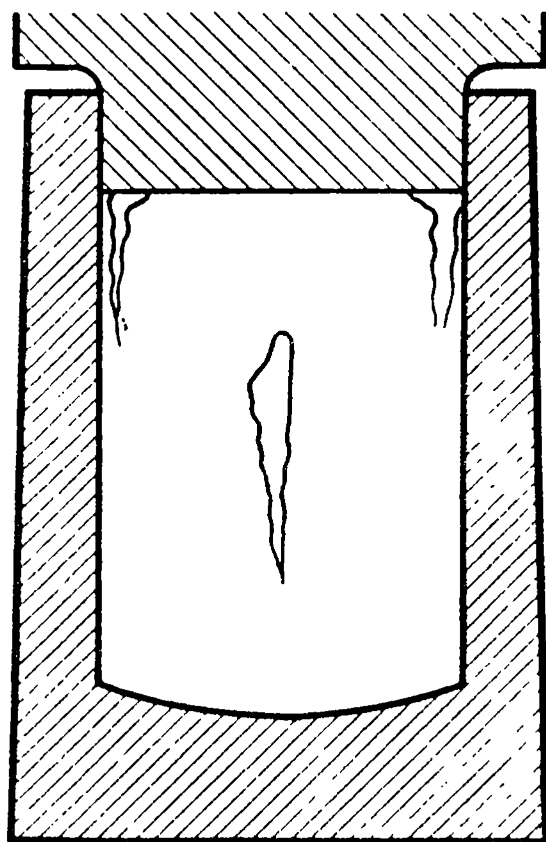
в виде ныряла, около 50 дюймов в диаметре; на голове этого поршня имеется перевозная площадка *B*. Сверху большой траверс *C*, а под ним подвижной чугунный массив *D*; траверс связывается с основанием четырьмя стальными колоннами, которые в верхней части представляют винты, на которых чугунный массив *D* может перемещаться помощью гидравлических цилиндров *f* и тяг *a* вверх и вниз, закрепляясь в данном положении гайками *E*.

На площадке *B* подвозится изложница *H*, в которую только что налита сталь. Над изложницей, к нижней стороне чугунного массива *D*, прикрепляется глухой поршень *p*, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру изложницы. Когда под нижний поршень пускается вода, то он поднимается вместе с изложницей, причем верхний поршень плотно входит в изложницу; тогда все абсолютное давление пресса обрушится на заключенную в изложнице жидкую сталь. Чугунный массив устанавливается заранее, сообразно высоте изложницы, так, чтобы верхний поршень был лишь немного выше верхнего края изложницы, иначе придется дать большой ход поршню *A* при поднятии изложницы во время прессования. На практике оказалось, что при сильном давлении поршня [46] выделение газов из стали прекращается тотчас же после нажатия; но так как сталь уменьшается в объеме от охлаждения и отвердевания, то, чтобы давление на сталь при этом сжатии не ослабевало, кран в гидравлический аккумулятор остается открытым и поршень с сильным давлением следует за сжатием болванки во время отвердевания стали. Если бы поршень действительно мог вполне следовать до конца затвердевания с большим давлением, то получилась бы более или менее совершенная болванка; на самом же деле происходит иное. Во-первых, здесь нет той свободы стягивания объема болванки, как это имеет место при обыкновенном способе отливки: гидравлическое давление передается через сталь стенкам изложницы, которую распирает в бока действием пресса; точно так же распирает и затвердевающую кору болванки. При обыкновенных условиях остывания диаметр болванки уменьшается; при газовом или паровом давлении тоже ничто не мешает уменьшению ди-

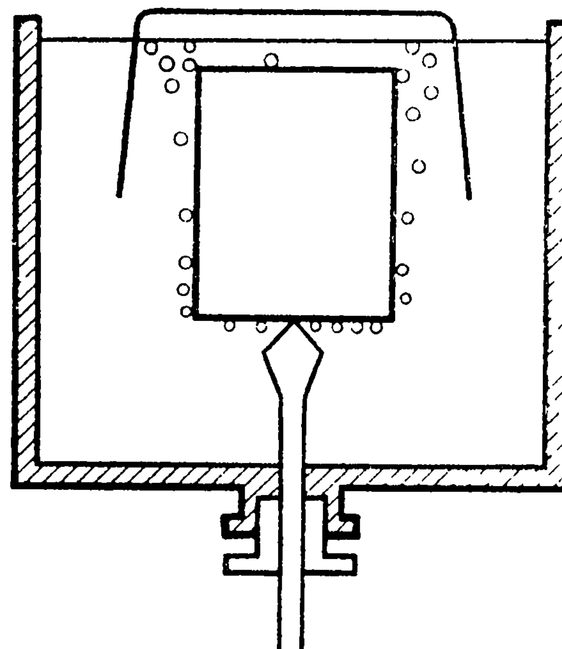


Фиг. 61

[46] Площадь поршня *A* составляет 2000 кв. дюймов; давление воды может доходить до 5 *т* на 1 кв. дюйм, так что полная сила пресса может быть доведена на 10 000 *т*. Гидростатическое давление жидкой стали изменяется в зависимости от площади сечения изложницы и давления воды под поршнем; обыкновенно давление на сталь колеблется около 1000 *ат*.



Фиг. 62



Фиг. 63

аметра болванки; газы проходят в зазор между болванкой и изложницей, и отовсюду давление на болванку одинаково по направлению снаружи внутрь. При глухом поршне условия остывания оказываются ненормальными; изложницу приходится делать очень прочную, стальную, скрепленную из двух или трех слоев, ибо давление на жидкую сталь доходит иногда до 2000 *ат*. Другое важное неудобство в этой операции — сильное трение застывшей части болванки о стенки изложницы; на преодоление этого трения расходуется огромная механическая работа. Вначале это трение невелико, потому что поршень сморщивает образующуюся корку и соскребает ее вместе с внутренней огнеупорной обмазкой изложницы (обмазка необходима, иначе болванка при таком давлении совершенно приваривается к изложнице; низ поршня тоже обмазан). Наконец, с увеличением толщины корки сопротивление соскребыванию и сморщиванию ее настолько возрастает, что уже превышает силу пресса, и прессование прекращается, между тем как внутри еще остается незатвердевшая жидкая сталь. Эта последняя порция занимает в данном случае более глубокое положение, чем при отливке в обыкновенных условиях, так как тут остывание происходит со всех сторон почти одинаково, лишь нижняя часть болванки, куда сталь влита несколько ранее, нежели вверх, стынет несколько быстрее. Форма этого внутреннего резервуара (фиг. 62) — удлиненная, в виде веретена, тупым концом кверху. Когда вследствие возрастания сопротивлений поршень останавливается и не может уже производить сильного давления на жидкую сталь, из нее начинают выделяться газы. Так как жидкость здесь уже загустевшая, то кристаллы образуются медленно, частные усадки — в большом количестве, потому что густая масса не заполняет так хорошо и скоро пространств между ветвями растущих кристаллов. Выделение газов, до тех пор насильственно удержанных в растворе, происходит во множестве мелких пузырьков, которые запутываются в рыхлой кристаллической массе и задерживаются в густой жидкости, образуя пустоты, хорошо заметные лишь в лупу; словом, сердцевина болванки представляет рыхлую, пористую массу.

Итак, удерживать газы в растворе посредством увеличенного давления газовой атмосферы над сталью рациональнее, чем помощью давления, передаваемого поверхности жидкой стали глухим поршнем. Стягивание от охлаждения идет тогда естественным путем, по всем измерениям; нет надобности в столь огромных давлениях и в столь прочно устроенных изложницах; нет насильственного скопления усадочных пустот в середине болванки; общая усадка (воронка) располагается в верхних частях, а нижние усадочные пустоты заливаются жидким металлом. Лет 15 тому назад Крупп взял привилегию на прессование стали углекислотой. Способ его проще способа Джонса, так как здесь не нужно устраивать паровых котлов, а надо только иметь резервуар с жидкой углекислотой; этот резервуар должен сообщаться посредством трубки, имеющей кран, с герметически закрытым пространством над поверхностью влитой в изложницу стали. При открывании крана углекислота мгновенно испаряется, и ее пары, находясь при обыкновенной температуре в насыщенном состоянии, производят сильное давление на сталь; этим способом выделение газов при затвердевании совершенно устраняется, и остывшая сталь содержит их в растворе [47].

При нагревании болванки до высоких температур, например во время ковки, большая часть этих газов выделяется, и опыт показывает, что это те газы, которые улавливаются и с поверхности расплавленной стали, хотя в несколько иной взаимной пропорции. Газы эти усердно собирал и анализировал инж. Миллер; для собирания их он погружал остывшую болванку в резервуар с водой или маслом, удерживая ее навесу особыми приспособлениями; снизу пропускалось сквозь сальник вертикальное сверло (схематическое изображение см. на фиг. 63), которое сверлит нижний срез болванки с очень малым нажимом для получения очень мелкой стружки. Газы выделялись при этом мелкими пузырьками и собирались под колоколом, опрокинутым над болванкой. Обращая последовательно в стружки всю болванку, можно таким образом извлечь из нее все газы. Миллер и другие, повторявшие его опыты, нашли, что главная составная часть этих газов — водород (50—90%), затем окись углерода, углекислый газ и азот. Прежде считали присутствие водорода случайностью, преимущественной же причиной пузыристости стали — выделение окиси углерода, которая являлась результатом окисления углерода стали кислородом воздуха во время отливки. Очевидно, водород есть результат разложения влажности, заключающейся в воздухе, огнеупорной набойке и т. п. Азот поглощается непосредственно из печных газов, в которых он всегда заключается в большом количестве.

Третий способ получения беспузыристой отливки, осуществленный на практике, есть способ химический. Он был применен в 1875 г. инж. Пурселем на французском заводе Терр-Нуар. Металл доводят сперва до состава мягкого, совсем обезуглероженного железа и затем прибавляют

[47] Растворение или поглощение газов твердыми металлами можно видеть на многих примерах, например палладий может поглощать весьма значительный объем водорода; то же замечается и в гальванически осажденном железе.

зеркальный чугун, содержащий столько углерода, сколько нужно для получения данного сорта стали, и столько марганца, чтобы его достало с избытком для раскисления окислов железа, содержащихся в растворе металлической ванны.

Замечено, что, если вместе с зеркальным чугуном вводится кремний, отливка получается почти вовсе без пузырей. Это легко объяснить, если считать газы, содержащиеся в ванне, лишь продуктами окисления углерода стали. Кремний при температуре стали, разливаемой по изложницам, имеет большее сродство к кислороду, чем углерод, и потому он тотчас же раскисляет растворенные в ванне окислы, и если бы раньше того образовалась в ванне окись углерода, то кремний ее также раскисляет, давая твердые продукты: углерод и кремнезем; следовательно, выделения газов тогда уже не будет. С другой стороны, марганец окисляется за счет кислорода, как свободного, растворенного в ванне, так и отнимаемого у окислов железа; окислы марганца в качестве оснований соединяются с параллельно образующимся кремнеземом и переходят в жидкий, легко всплывающий на поверхность ванны шлак. Следовательно, кремний, совместно с марганцем, действует на жидкую сталь, с одной стороны, как очиститель, а с другой, как средство, устраняющее выделение углеродной окиси, причем отливки получаются беспузыристые.

Вместе с этим был решен вопрос и о приготовлении стальных изделий требуемой фигуры прямо отливкой в земляные формы, подобно тому как получаются чугунные отливки. На Парижской выставке в 1889 г. были представлены стальные отливки самых разнообразных форм и величин, до 25 *т* весом; при этом сопротивление на разрыв образцов, вырезанных из отливок, доходит до 5500 *ат* при удлинении 10—15%. Несомненно, что производство стальных отливок в земляные формы имеет громадную будущность и в настоящее время уже значительно сократило применение отливок из чугуна и поковок из железа.

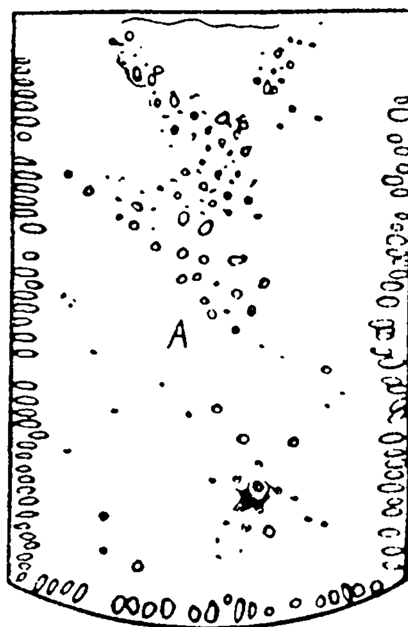
Вышеописанный способ получения отливок без пузырей вызвал приготовление особых сплавов: ферромангансилиций или даже просто ферросилиций; в этих сплавах количество кремния в настоящее время составляет около 15%, а в отдельных случаях и до 20%.

Употребление кремния как реактива для освобождения стали от выделения газов при отливке оставляет неясным воздействие кремния на водород, присутствие которого в большом количестве доказано Мюллером и другими исследователями. После прибавления кремния сталь делается, по заводскому выражению, *мертвою*, т. е. имеет совершенно спокойную поверхность и льется, как масло, — спокойно, без пены. Может быть, кремний образует с водородом соединение SiH_4 (?), которое, несмотря на свою летучесть, поглощается металлом гораздо энергичнее водорода; иначе говоря, кремний как бы осаживает водород.

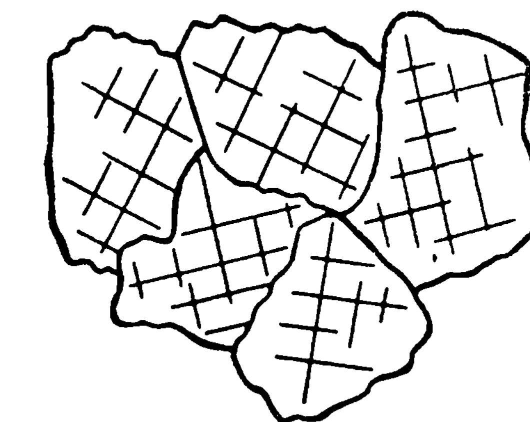
Основываясь на очевидном действии кремния, предлагали вместо него вводить некоторые другие вещества, которые немедленно отнимали бы кислород от окиси углерода и сами, окисляясь, переходили бы в шлак; таковы магний, кальций и в последнее десятилетие сильно подешевевший

алюминий. Через прибавление алюминия к жидкой стали в весьма незначительных количествах в виде сплава его с железом получили очень хороший результат: сталь выходит чистая по составу и в то же время беспузыристая, совершенно мертвая при отливке.

Кроме усадочной воронки и пузырей, отлитая из стали болванка имеет еще важный недостаток, называемый *рыхлостью*. Мы видели выше, что сталь затвердевает кристаллическими ростками, которые между собой встречаются, срастаются ветвями и замыкают пространства с жидким металлом. В этих замкнутых клеточках происходит в миниатюре то же явление, что в целой болванке, т. е. образуется также своя усадочная пустота. Микроскоп показывает, что эти пустоты распространены во всей массе болванки и особенно скопляются к ее середине, близ оси *A* (фиг. 64), где металл во время кристаллизации уже очень густ и не так хорошо заливается в пустоты между ветвями образующихся кристаллов. Величина срединных пустот значительнее, чем в остальной массе болванки, вследствие чего сердцевина под усадочной воронкой бывает обыкновенно очень рыхлая.



Фиг. 64



Фиг. 65

Мы знаем, что при затвердевании жидкой стали группы кристаллов растут нормально к охлаждающей стенке изложницы, а расположение их боковых ветвей совершенно случайное. В поперечном разрезе кристаллов, нормальных к стенкам изложницы (фиг. 65), боковые ветви при различных главных осях представятся крестами в различных положениях, причем главные оси группируются в системы при некоторых как бы более сильных центрах кристаллизации. Последнеобразующиеся ростки групп, или систем, отделяются от соседних тонким слоем жидкости, которая распределяется между ними в последний момент их роста, а потому на такой границе между системами кристаллов располагаются в большом числе местные усадочные пустоты. Очевидно, соседние частицы разных групп по окончательном отвердевании металла будут удалены друг от друга несколько дальше, чем частицы одной и той же группы или одного и того же кристалла; таким образом, на границах групп являются поверхности слабости, по которым и произойдет разделение в случае, например, излома. Среднее направление таких поверхностей разъединения параллельно общему направлению главных осей кристаллизации, а их сечение, нормальное к главным осям, имеет произвольную фигуру, так что в общем такой излом представляет сжатые пучки призм неправильного сечения, с несколько сглаженною поверхностью. Описанное явление есть призматическая грануляция.

Так как затвердевший слой раскаленного металла проводит теплоту довольно дурно, то на некотором расстоянии от стенки уже нет такого

резко определенного направления, по которому идет отнятие теплоты, а следовательно, нет и причины, регулирующей положение главных осей; последние бросаются по всем направлениям, образуя группы, подобные вышеописанным, но ограниченные со всех сторон системой кривых поверхностей, которые на первый взгляд кажутся как бы плоскостями; в поверхностях, разделяющих эти группы, замечается такая же слабая связь, как и между призмами; излом в таких местах представляется весьма крупнозернистым; форма зерен — неправильные многогранники с сглаженной поверхностью. Это полиэдрическая грануляция, которая встречается местами в различных частях стальных болванок.

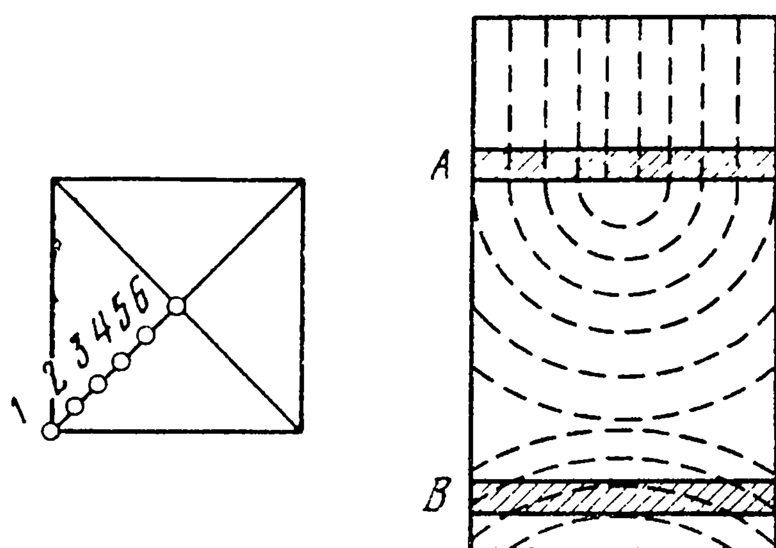
Проявление как призматической, так и полиэдрической грануляции особенно заметно в тех случаях, когда при отвердевании стали насильственным образом что-либо мешает естественному стягиванию болванки; тогда расстояния между группами необходимо увеличиваются от сжатия последних, причем произойдет некоторое разделение призм или зерен.

Наконец, еще один важный недостаток стальных слитков заключается в том, что химический состав стали не во всех местах болванки одинаков.

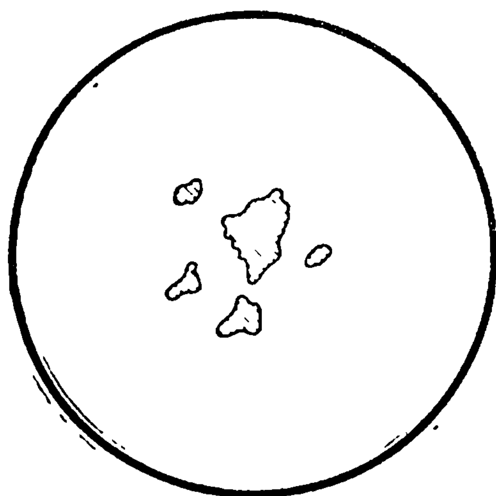
Когда кристаллизация совершается спокойно, то, вероятно, происходит некоторое распадение состава стали: одно вещество, более мягкое, менее углеродистое, бросает оси, и другое, более углеродистое, оставаясь в то время еще жидким, тотчас же вслед за тем облепляет ростки, иначе мы не можем объяснить происхождение рисунка на булате. То вещество, которое затвердевает позже, осаживаясь на образующихся ростках, еще не успеет отложиться в полном относительном количестве, как часть его, оставшаяся жидкой, отгоняется вновь образующимися ростками все дальше и дальше от пунктов, где началась кристаллизация; таким образом, в местах, затвердевающих последними, оказывается преобладающим или исключительным более углеродистое соединение. Это явление, констатированное Лавровым и Калакуцким в 1866—67 гг., аналогично ликвации в бронзовых отливках.

Снелюс произвел исследования в 1881 г., между прочим, над болванкой в 2,1 *м* высотой с квадратным поперечным сечением, сторона коего 0,48 *м*, весом около 125 пудов. Он вырезал два поперечных слоя на расстоянии около $^1/_4$ высоты от верха и $^1/_{20}$ высоты от низа болванки (фиг. 66). Из каждого слоя он брал для химического анализа образцы по диагонали, обозначая их номерами по порядку от угла к центру. Вот найденное им содержание углерода в процентах:

Слой *A* (верхняя часть)		Слой *B* (нижняя часть)	
№ 1	0,44	№ 1	0,44
№ 2	0,54	№ 2	0,42
№ 3	0,57	№ 3	0,41
№ 4	0,61	№ 4	0,40
№ 5	0,68	№ 5	0,38
№ 6	0,77	№ 6	0,37



Фиг. 66



Фиг. 68

24	28	24	30	28	23	26
26	36	64	54	57	38	27
30	39	51	78	49	42	30
29	36	40	72	40	42	29
32	38	35	43	34	38	33
31	33	31	32	30	30	32
33	27	28	29	28	27	29
33	25	26	24	25	26	30
34	24	25	22	24	24	33
32	23	23	22	23	24	29
32	25	25	24	26	28	30
28	28	30	29	30	29	28

Фиг. 67

Верхний слой служит подтверждением вышесказанного; что касается нижнего, то он заключает немного более углерода в наружных частях, нежели во внутренних, между тем как можно было скорее ожидать обратного распределения углерода или, по крайней мере, одинакового по всему нижнему слою. Очевидно, это факт случайный; Снелюс объясняет его тем, что остывание дна болванки началось не от стенок, а от точек на оси, лежащей близ центра дна, и только потом уже пошло в нормальном порядке, как это показано пунктирными линиями [48].

Майтлэнд произвел в 1887 г. подобные же исследования. Для этой цели он вырезал из болванки продольную пластинку по диаметральному сечению и поделил ее на образцы рядами, как представлено на фиг. 67; в горизонтальном ряду вышло семь образцов, а в вертикальном — двенадцать, всего восемьдесят четыре образца. Если на фиг. 67 обозначим на месте каждого образца цифру, выражающую содержание в нем углерода, то увидим, что различие в цифрах по краям в нижней половине едва выходит из пределов ошибки анализа; цифры же в середине верхней трети показывают несомненно увеличенное содержание углерода и обозначают фигуру, намекающую на вид усадочной воронки.

Снелюс при своих работах задался еще и более широкой задачей: он исследовал содержание в разных местах той же болванки одновременно с углеродом и других примесей, изменяющих плавкость стали, например серы и фосфора. Приводим полученные им результаты.

---

[48] Объяснения этого мы не разделяем, средняя часть при отливке всегда горячее вследствие постоянного притока льющейся в изложницу горячей струи стали.

	Верхний слой			Нижний слой	
	Фосфор, %	Сера, %		Фосфор, %	Сера, %
№ 1	0,044	0,032	№ 1	0,060	0,042
№ 2	0,060	0,048	№ 2	0,062	0,056
№ 3	0,086	0,080	№ 3	0,054	0,048
№ 4	0,097	0,096	№ 4	0,054	0,048
№ 5	0,110	0,120	№ 5	0,058	0,048
№ 6	0,142	0,187	№ 6	0,052	0,044

Таким образом, видно, что в легкоплавких продуктах распадения стали при отвердевании, собирающихся в местах, соседних с усадочной воронкой, содержится не только большое количество углерода, но и других элементов, каковы сера и фосфор.

В больших болванках (500 пудов и более) результаты ликвации иногда ясно можно видеть в поперечных изломах верхней трети слитка в виде тусклых сероватого цвета пятен, довольно резко ограниченных, на более светлой и блестящей остальной поверхности излома (фиг. 68).

Вот в общих чертах свойства и качества болванок литой стали. Перечислим кратко их недостатки: 1) пузыри от выделения растворенных газов в наружных слоях; 2) микроскопические усадочные пустоты во всей массе (поры); 3) рыхлость в центральных частях и общая усадочная пустота в верхней четверти, чрезвычайное развитие предыдущего недостатка как результат сжатия объема металла при отвердевании; 4) ликвация, имеющая место всякий раз, когда болванка остывает не так быстро, чтобы считать время секундами; 5) грануляция, призматическая и полиэдрическая, развитию которой, напротив, способствует ускоренное охлаждение и вообще всякая причина, мешающая свободному и равномерному сжатию различных частей слитка при охлаждении.

КОВКА СТАЛЬНЫХ БОЛВАНОК [21*]

Ковка мелких болванок не представляет никаких особенностей против ковки железа; нужно только соблюдать осторожность при нагревании и тем в большей степени, чем тверже сталь болванки, ввиду того, чтобы не довести нагревание до критической температуры, при которой сталь рассыпается (точка k нашего масштаба), и не оставлять без надобности нагреваемого куска стали лежать в огне или в раскаленной печи.

Здесь мы будем говорить исключительно о ковке больших болванок, назначаемых, например, на орудия больших калибров, гребные валы океанских судов и т. п. В этом случае для обработки требуются сильные механические средства, которые можно разделить на две категории: одни действуют ударом — это *молота*, другие действуют почти статически, давлением — *жомы*, вошедшие в практику только в самое последнее время. Не входя в подробности устройства паровых молотов, известные уже из общего курса металлургии и обработки металлов, мы укажем только на некоторые *особенности больших паровых молотов*.

Большими паровыми молотами в настоящее время считаются те, у которых вес бьющей части около 50 т и выше, так как молота в 25—35 *т*

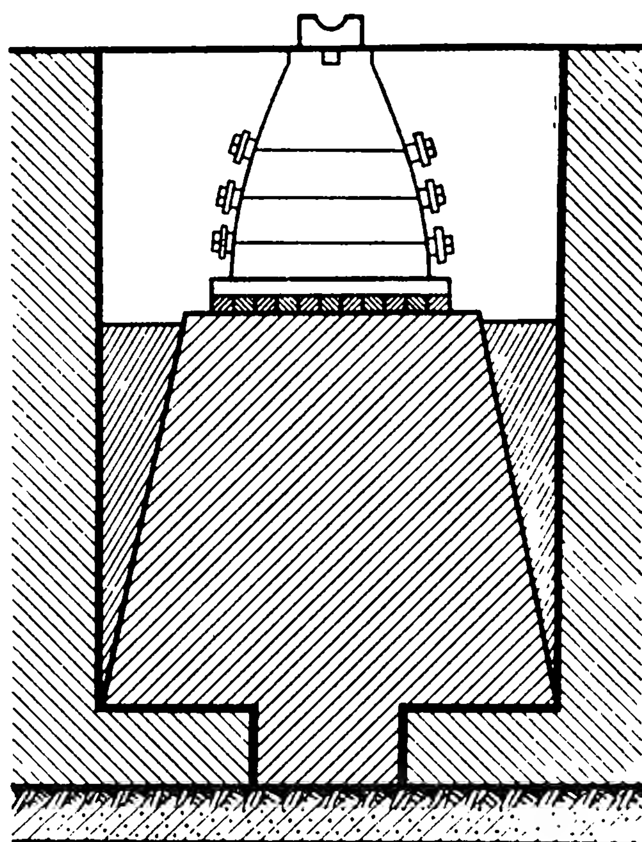
представляют заурядное явление на всяком крупном сталелитейном заводе. Наибольшие из существующих в настоящее время молотов имеют бьющую часть от 80 до 125 *т* весом. При устройстве молота представляются к разрешению следующие пункты: 1) выбор веса бьющей части и высоты падения ее, 2) выбор системы молота, 3) устройство фундамента, 4) устройство соединения поршня с штоком и бабой (ударяющая часть), 5) устройство кранов и печей. Что касается первого пункта, т. е. выбора силы молота, то решение этого вопроса находится в непосредственной связи с толщиной подлежащих обработке стальных болванок. В этом случае приходится руководствоваться только практическими данными, выведенными из опыта.

Так, приблизительно можно руководствоваться следующим соотношением: для успешной работы при ковке число тонн веса молота должно быть не меньше $^1/_{40}$ числа квадратных дюймов поперечного сечения литой болванки. Применяясь к этому правилу, мы получили бы следующие предельные величины для диаметров болванок, с успехом проковываемых под молотами:

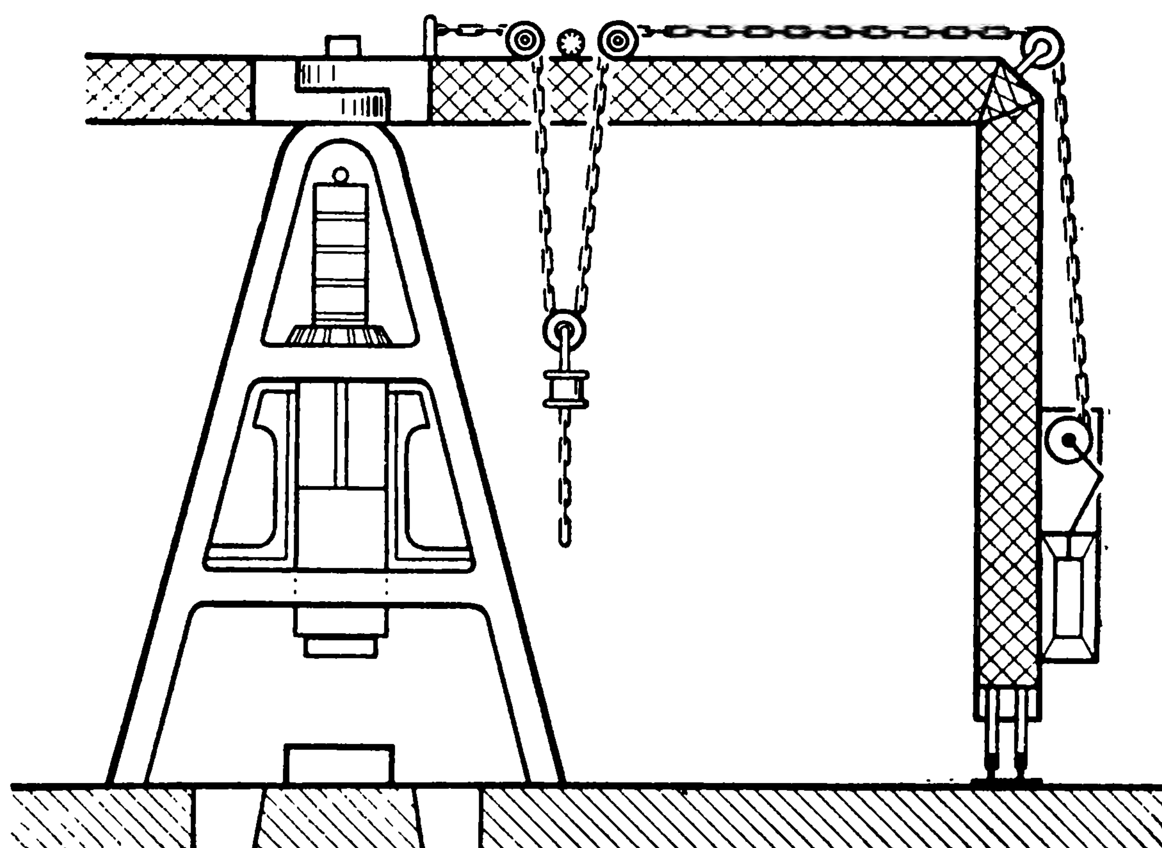
Под	10-тонным	наибольшей	площади —	400	кв.	дюймов	или	диаметром	около	22,5″
»	15 »	»	»	600	»	»	»	»	»	27,5″
»	35 »	»	»	1400	»	»	»	»	»	42,25″
»	50 »	»	»	2000	»	»	»	»	»	50,5″
»	80 »	»	»	3200	»	»	»	»	»	64,0″
»	100 »	»	»	4000	»	»	»	»	»	71,5″

полагая при этом молота простого действия и что полная высота падения постепенно возрастает с величиной молота в приблизительных существующих на практике пределах: от 6 футов для 10-тонного до 15 футов для 100-тонного молота. По отношению к системе больших паровых молотов нужно заметить, что на основании многолетних опытов система Несмита, т. е. сосредоточение главной бьющей массы молота в чугунной бабе, подвешенной к легкому паровому поршню на тонком штоке (стержне), оказалась наиболее практичною. Другие системы, представителями которых могут служить системы Конди и Морисона, оказались непрочными: в первой слабою частью является паровой цилиндр — молот, дающий продольные трещины; во второй шток (пест) дает поперечные трещины в нижней части, над головным утолщением.

Наковальня у больших молотов всегда помещается на отдельном фундаменте, который есть самая солидная часть молота. В видах устранения распространения сотрясений на большую окрестность и в видах прочности и долговечности сооружения фундамент молота основывается на слое мощного геологического отложения, так сказать на естественном фундаменте, на настоящей земной коре, для чего приходится иногда значительно углубляться. На Обуховском заводе для 35-тонного молота пришлось рыться в глубину на $11^1/_2$ сажен, пока не дошли до пласта силурийского песчаника. На последнем участке, около сажени, значительно уменьшили поперечное сечение ямы, потому что глина стала так тверда, что ее не брала кайла; эту суженную часть залили бетоном; сверху в широкой части установили большой железный усеченный конус и также



Фиг. 69



Фиг. 70

залили бетоном (фиг. 69). Получился большой каменный массив, на который положили упругую прокладку из двух рядов тиковых брусьев, а на ней уже установили стул наковальни. Стул состоит из четырех чугунных массивов, лежащих один на другом и связанных бугелями, надетыми на их цапфы; нижний массив цилиндрический, остальные конические. Сверху на стуле оставлено круглое гнездо, в которое вставляется центрирующий шип наковальни, которая обыкновенно меняется сообразно форме отковываемой болванки. Все пространство ямы вокруг залитого бетоном массива, до верхнего его края, затрамбовано той же глиной, которая вынималась из ямы.

Иногда в фундаменте вместо бетона бывает каменная (гранит, известняк) кладка. В некоторых местах в качестве упругой кладки ставят куст деревянных брусьев стоймя, связанных болтами по различным направлениям; удар выходит жестче, ибо дерево лучше сопротивляется удару по торцу и не так размочаливается.

Вес стула (чугунного массива) наковальни принято делать около десяти раз больше веса бьющей части. На Обуховском заводе у 50-тонного молота вес стула около 26 тыс. пудов (около 440 *т*), т. е. меньше нежели в девять раз превышает вес молота; эта случайность объясняется тем, что при переделке 35-тонного молота (для которого условие это было удовлетворено с избытком) в 50-тонный оставили старый фундамент и стул. При устройстве же новых молотов условие это всегда соблюдается. На Пермском заводе у 50-тонного молота двойного действия [49] стул наковальни весит 36 тыс. пудов (600 *т*); стул этот *цельный*, в виде усеченной квадратной пирамиды с цапфами, ось которых проходит через центр тяжести массива, цапфы понадобились для подвешивания при переворачивании

[49] Т. е. такого, где пар работает сверх поршня при ударе, а потому сила удара значительно больше, чем при свободном падении груза в 50 *т*.

стула, потому что он был отлит на месте в опрокинутом положении. В больших молотах (80 и 100 *т*) наковальни составлены из частей, пристроганных и соединенных заклинением.

У 100-тонного молота в Терни наковальня весом в 1000 *т* отлита целиком на месте [50] в нормальном положении, так что ее не пришлось даже переворачивать, а только надо было подвесить, чтобы очистить низ от формовой земли, подвести упругую подкладку и заработать. Подвешивание в подобных случаях производится легко помощью гидравлических домкратов.

Чтобы видеть, насколько заблаговременно до установки молота должна быть задумана отливка наковальни, приводим следующие данные: у наковальни в Терни только спустя четыре месяца после отливки можно было приступить к раскрытию формы — настолько была еще горяча наковальня (форма ввиду необходимой ее прочности делается толстостенная, и потому охлаждение идет очень медленно); а спустя шесть месяцев после отливки массив был еще теплый.

Станины молотов первоначально делались чугунными, но в них иногда при сильных и неправильных ударах молота происходили трещины и поломки. Лет 30 тому назад начали делать станины, клепанные из листового железа, коробчатой формы, пустотелые; устой вышел значительно легче чугунного, приготовление и установка молота ускорились, и так как железные коробчатые станины эластичны, не дают трещин, то получилась возможность безопасно соединять с ними направляющие для бабы. Кроме того, ввиду достижения большей прочности при данном весе, а также большей надежности вообще такое устройство дало возможность увеличить высоту подъема бабы молота; так, в Терни благодаря железным станинам высота подъема бабы достигает $16^1/_2$ футов.

Приведем некоторые особенности молота в Терни. Станины, клёпаные железные, имеют фигуру трапеции. Система кранов оригинальна, она представляет комбинацию мостового с поворотным, т. е. это радиальный мостовой кран (фиг. 70), он, кроме того, двойной, т. е. два радиальных моста двигаются независимо друг от друга. На верхней перекладине устоя молота (эта перекладина выше парового цилиндра) находится толстый штырь, на который надеты проушины центральных концов обоих мостов. Мост решетчатой (многораскосной) системы; наружный конец его поддерживается двуногой такой же решетчатой системы, в виде козел; ноги, в свою очередь, связаны между собой тоже раскосами. Двунога составляет одно целое с мостом, на нижних концах ног помещаются катки, ходящие по круговому рельсу. Такая конструкция кранов позволила устроить один из них в 100 *т*, а другой в 150 *т*, несмотря на высоту около 20 *м*.

Молот этот действует не паром, а воздухом, сжатым до 5 *ат*; для сжатия пользуются энергией текущих вод реки Велино, протекающей за соседней

[50] Это пока наибольшая чугунная отливка в мире, и было немало хлопот при сосредоточении такой массы расплавленного чугуна. Из 1000 *т*, которые здесь понадобились, 600 *т* было привезено в особых котлах на тележках по железной дороге с большого чугуноплавильного завода, расстояние которого от молота около 3 верст.

с заводом горой, на высоте 367 *м* над уровнем моря. Вода проведена к заводу отчасти по трубам, отчасти туннельными каналами сквозь гору, на расстояние 6,5 версты, причем общее падение составляет свыше 200 *м* [51]. От сгустительных насосов (компрессоров) воздух проводится к молоту и кранам по трубам. Употребляя для молота движителем воздух, достигают значительной экономии против пара. Паровой цилиндр имеет большой объем, и молот стоит открыто или, по крайней мере, в неотапливаемом помещении; чтобы избежать охлаждения и чрезмерной конденсации пара, в паровых молотах приходится постоянно поддерживать нагревание цилиндра паром и таким образом расходовать его даже во время долгих пауз при нагревании болванок, когда молот в бездействии. При сжатом же воздухе с остановкой молота останавливается и расход работы двигателя.

Что касается нагревательных печей при больших молотах, то в настоящее время уже везде применяется газовое отопление с регенерацией. Объем печи делается значительно превосходящим размеры наибольшей отливаемой болванки, дабы скорость циркуляции газов в печи была возможно умеренная, в видах устранения местных перегревов болванки; пламя впускается в печь раздробленным на сравнительно мелкие струи из отверстий, расположенных по всей длине печи, для достижения большей равномерности нагрева по всей длине болванки. Под печи для облегчения посадки и выема болванки делается выдвижным. Для маневрирования при выдвигании пода, подъеме заслонок (дверец) печи и т. п. служат иногда паровые или гидравлические приспособления.

Молота-прессы или жомы

Определим приблизительно величину давления, развивающегося во время удара молота по болванке при ковке. Явление удара мы будем рассматривать в самом грубом виде, именно: 1) будем считать как ударяющую часть (поршень+шток+баба), так и часть, поддерживающую предмет (наковальня+основание), неизменяемыми, неупругими системами; 2) пренебрежем сопротивлением воздуха и вредными сопротивлениями механизма. Если H — высота падения, P — вес бабы, p — вес поршня, p_1 — вес штока, то живая сила при ударе будет равна работе веса при падении, т. е равна $H(P+p+p_1)$. Чтобы судить о силе сопротивления, которое представляет болванка при ударе по ней молота, нужно знать то перемещение s ударяемой поверхности, на протяжении которого будет поглощена вся живая сила, т. е. скорость ударяющего тела достигнет минимума — станет нулем.

Остается теперь подставить в выражении работы веса при падении молота числа, взятые из практики, а также найти величину перемеще-

[51] Подобный же огромный запас двигательной силы имеется у нас в реке Свияге, текущей навстречу Волге, по высокому ее берегу; у самого Симбирска расстояние между реками лишь около двух верст, при разности уровней более 20 саженей. К сожалению, город не пользуется этим источником силы, запас которой здесь достигает свыше 5000 паров. лошадей.

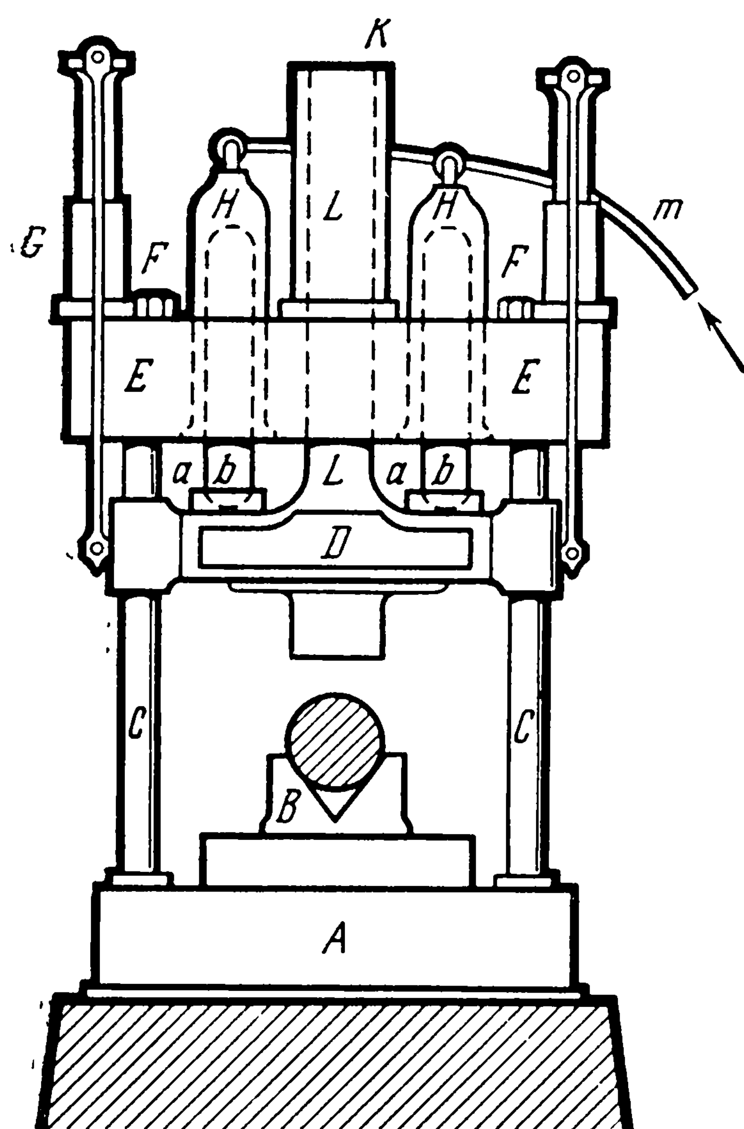
ния s непосредственным измерением. Высоту H для 50-тонного молота Обуховского завода можно принять в 10 футов, хотя величина полного хода поршня бывает и больше (12 футов), но взяв цифру, на 2 фута меньшую, можем положить, что куется болванка толщиной около 2 футов в вырезной наковальне. В таком случае живая сила удара в 50-тонном молоте составляет 500 тонно-футов, или приблизительно 30 000 пудофутов. Болванка получает от удара сжатия в местах соприкосновения с ней молота и наковальни; величина сжатия (считаемая по направлению удара) весьма приблизительно обратно пропорциональна проекции площади соприкосновения на плоскость, перпендикулярную к направлению удара. Если поперечник болванки (восьмиугольный, для примера) равен 2 футам, а ширина бойка 22 дюйма, то верхняя грань болванки при ударе обыкновенно уширяется до 16 дюймов (при ярком красном калении), так что для грубого расчета можно принять площадь соприкосновения вверху равной 350 кв. дюймам, а сжатие под верхним бойком при таких обстоятельствах будет около $1^1/_2$ дюйма. Две наклонные грани, которыми болванка опирается на наковальню, в сумме дадут в проекции на плоскость, нормальную к удару, несколько большую площадь, а потому сжатие по направлению удара здесь только около 1 дюйма (а по нормали к грани — еще меньше). Итак, общее перемещение верхнего бойка относительно наковальни с момента его прикосновения к болванке — около $2^1/_2$ дюймов. Но сама наковальня, несмотря на огромную ее массу, при ударе подается вниз, сжимая упругую деревянную подкладку; это перемещение оказывается равным $^1/_2$ дюйма [52]. Итак, искомый путь s, на протяжении которого истрачивается живая сила в 30 000 пудо-футов, составляет 3 дюйма=0,25 фута. Значит, *средняя величина* развивающегося сопротивления болванки составляет 30 000/0,25=120 000 пудов. Действительная же величина усилия непрерывно изменяется от некоторой громадной величины до минимума, близкого к весу бьющей части (когда движение кончилось).

Что сила, развивающаяся в первый период удара, громадна, это легко заключить из того, что она сообщает верхним частицам, находившимся в покое и имеющим конечную массу m, некоторую конечную и даже значительную скорость [53] v в неизмеримо малый промежуток времени dt (т. е. это так называемая мгновенная сила, которая, как показывает уравнение импульсов $Fdt=mv$, должна быть бесконечно велика, а в случаях, действительно происходящих, чрезвычайно велика). Опыт вполне подтверждает такое заключение, потому что, несмотря на мягкость раскаленной докрасна болванки, крепкий боек из стали или закаленного чугуна весьма заметно изнашивается — расплющивается и сминается на лицевой площадке, как рукоятка зубила под молотком. Определить хотя бы приближенно изменение усилия при ударе и его максимальную величину чрезвы-

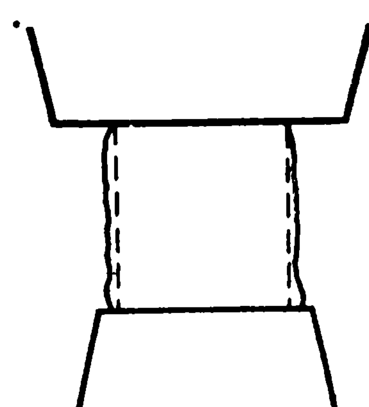
---

[52] Эту величину я получил, наблюдая движение верхней площади стула наковальни на Обуховском заводе. Способ наблюдения был графический.

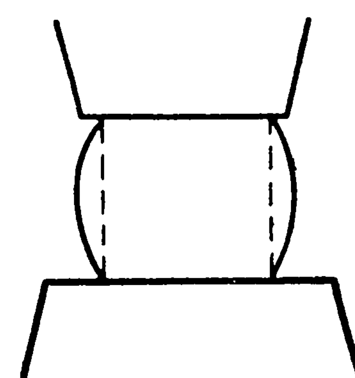
[53] Скорость эта почти равна скорости бьющей части, т. е. $\sqrt{2gH}$, для данного случая это составляет около 25 футов в секунду.



Фиг. 71



Фиг. 72



Фиг. 73

чайно затруднительно, и на это потребовалось бы немало времени, так как пришлось бы изучать весьма сложное явление удара при ковке, передачу давления от сечения к сечению, распределение давления в различных сечениях, — и все это не только по отношению к болванке, но и по отношению к поршню, штоку, бабе, наковальне, стулу, подкладке и т. д. Однако и полученная нами средняя величина есть очень важная данная; так, мы с достаточным приближением можем считать ее за усиление, которое произвело бы эффект, полученный при ударе, будучи приложено статически. Подобное соображение приводит к устройству прессов-жомов.

Первый пресс такого рода вместо молота был устроен Витвортом в Манчестере, повод к этому был отчасти случайный: по характеру производства требовалось проковывать большие стальные болванки, а между тем городские власти не позволили устроить большой молот, так как завод находится в самом городе и сильные сотрясения при ковке молота беспокоили бы жителей на довольно большом пространстве. Давление в первом прессе-жоме Витворта достигало 2000 *т* (около 120 000 пудов), что, по вышеприведенным соображениям, соответствует 50-тонному молоту Обуховского завода. Удачное действие этого пресса-жома обратило всеобщее внимание на этот механизм, и Крупп устроил пресс-жом на 5000 *т* (что на основании вышеизложенных соображений соответствует 150-тонному молоту) и другой на 2000 *т*.

В России теперь прессы-жомы имеют заводы Балтийский (на 800 *т*) и Обуховский (на 2000 и 3000 *т*).

Опишем в общих чертах жом системы Дэви, установленный в 1886 г. (фиг. 71).

На массивном стальном основании (раме) *A*, покоящемся на каменном фундаменте, установлена в середине наковальня *B*, а по концам четыре колонны *C* с винтовою нарезкой вверху. По этим колоннам, как по направляющим, может ходить массивная чугунная подвижная поперечина *D*, имеющая внизу посередине утолщение, оканчивающееся четырехугольной площадкой, которая и давит на болванку, как верхний боек молота.

На верхней стороне подвижной поперечины находятся две получашки *a*, на которые давят полушарными концами два стальных поршня *b* (имеющих вид ныряла) от гидравлических цилиндров *H*, расположенных вверх дном выше давящей поперечины и утвержденных во второй постоянной поперечине *E*, лежащей на колоннах и прикрепленной к ним гайками *F*. Подвижная поперечина *D* подвешена на серьгах к штокам двух гидравлических цилиндров *G*, находящихся по концам верхней площадки траверса *E*. Вода проводится по наружной трубе *m*, которая потом разветвляется к обоим большим цилиндрам *H*; гидравлическое давление здесь доходит до 350 *ат*, диаметр поршней *b* равен 3 футам, длина хода их — $6^3/_4$ фута.

Подъем поперечины *D* совершается помощью цилиндров *G*, диаметр поршней которых равен 9 дюймам; в эти цилиндры вода доставляется от насоса, с давлением также до 350 *ат*.

Во время обжима болванки опускание поперечины *D* до прикосновения к болванке совершается впуском в цилиндры *H* воды с низким давлением; но как только боек дошел до болванки, в цилиндры впускается вода высокого давления и пресс действует полной силой.

Для более правильного направления движения давящей поперечины, чтобы не было перекоса, на верхнем траверсе установлен направляющий цилиндр *K*, в котором движется хвостовое продолжение *L* поперечины *D*. Как поперечины, так и основание *A* отлиты из стали в земляные формы.

Молот производит при ударе весьма сильное сжатие преимущественно поверхностных слоев, так что верхняя грань несколько оседает, и по краям ее образуются наплывы (фиг. 72). При медленном же давлении жома происходит почти одинаковое давление во всех горизонтальных слоях, сопровождаемое стремлением расшириться в плоскости, нормальной к направлению давления; но так как сильное трение тела болванки о поверхности молота и наковальни мешает разойтись в стороны верхнему и нижнему слоям частиц, то это расхождение имеет полную величину лишь в среднем сечении болванки, а кверху и книзу все уменьшается; таким образом бока болванки выпучиваются (фиг. 73).

Сравним в общих чертах полезное действие молота и пресса-жома на болванку. Механическая обработка стальной болванки в нагретом состоянии должна: 1) смять наружный ноздреватый слой, 2) смять внутреннюю центральную рыхлость и 3) уплотнить вообще всю массу болванки, пропитанную местными чрезвычайно мелкими усадочными пустотами. Очевидно, под молотом достигается преимущественно первая цель, а в жоме уплотняется сердцевина и вообще вся центральная масса, но зато уплотнение верхнего пузыристого слоя достигается не в такой степени, как под молотом. То же самое можно сказать и по отношению вытягивания в длину различных слоев болванки: при ковке молотом поверхностные слои тянутся одинаково с внутренними (при слабых ударах даже более), а под жомом первые тянутся весьма мало сравнительно с внутренними.

В пушечном деле уплотнение сердцевины не так важно, ибо сердцевина впоследствии высверливается; если же при обжиме будет мало смят наружный слой, то придется больше металла снимать обточкой, назначать

на это большой запас, — это увеличивает вес литой болванки. Что же касается до самого материала, то мы знаем, что на сталь не влияет способ механической обработки, будет ли то ковка или сдавливание; механические качества плотного металла зависят главнейше от того, до какой температуры нагрета была болванка, до какой температуры продолжалась ковка и при каких условиях произошло охлаждение болванки; так что главным образом приходится заботиться лишь об уничтожении пустот. Таким образом, молот-пресс, или жом, принесет большую пользу при обработке болванок беспузыристых, нежели имеющих в наружном слое много пузырей, молот же — наоборот [54]. Для усиления действия жома на поверхностные слои болванки, в смысле их сминания и вытягивания, полезно придавать выпуклую форму лицу бойка и делать его несколько у́же против соответственного бойка молота.

В настоящее время некоторые большие части машин (например, гребные валы больших пароходов) делаются пустотелыми (легкость и экономия материала при данной прочности); такие валы обрабатывают, выковывая под жомом пустотелые цилиндры: удалив сверлением рыхлую сердцевину прессованной литой болванки, нагревают ее, вставляют в канал холодный стержень и обжимают под прессом, как на оправке. Так как между стержнем и каждой половиной пресса теперь оказывается тонкий слой металла, то уплотнение рыхлости, оставшейся в стенках, происходит весьма удовлетворительно по всей массе. При подобной работе пресс имеет то преимущество перед молотом, что работает спокойно, без сотрясений.

Ход ковки пушечной болванки

Болванку, разогретую до ярко-красного каления, подносят к молоту в горизонтальном положении посредством кранов. Большие болванки поступают в нагревательные печи при молоте в краснокалильном состоянии, почти непосредственно после отливки. Это делается не столько ввиду экономии топлива, сколько из опасения испортить болванку охлаждеиием и затем новым нагреванием в печи. Литейные мастерские обыкновенно не отапливаются и открыты для сквозного ветра; если по снятии изложницы оставить болванку на открытом воздухе, то охлаждение ее будет неравномерное с разных сторон и вообще ускоренное, так что болванка может дать трещины. Допустим, однако, что болванка диаметром в 40—50 дюймов благополучно охлаждена; при разогревании ее нельзя холодную положить в горячую печь, ибо наружные слои болванки получают теплоту как от горячих печных газов, так и от лучеиспускающих стенок печи в большем количестве, чем могут передать в то же время внутренним, и когда первые нагреются до того, что зажигают масло [55], вторые еще на-

[54] Здесь также нелишне припомнить то, что было сказано о влиянии сильной проковки стали на восстановление соединения железа с углеродом, выделенным при высокой температуре под влиянием кремния: очевидно, жом уступает в этом случае молоту.

[55] Температуру темных нагревов узнают приближенным способом, брызгая на предмет воду и масло: вода кипит — 100°, масло кипит — 150°, масло дымится — 200°, масло загорается — 300°.

ходятся при температуре едва 100—150° и не так тягучи, чтобы следовать за увеличением объема первых; получаются сильные внутренние натяжения, выражающиеся внутренними трещинами. В начале введения сталепушечного производства это неясно сознавалось, и несколько откованных 6-дюймовых пушечных болванок было забраковано на сверлильных станках, потому что сверло вдруг встречало огромную внутреннюю раковину, или пустоту; впоследствии, наблюдая неотступно за нагревом болванок, догадались о причине происхождения трещин благодаря звуку, похожему на выстрел, который сопровождает их появление при разогревании.

В случае если бы пришлось охладить болванку после отливки или разогрева, то вновь ее можно весьма удачно разогреть таким образом. Положить ее на пол и близ концов развести костры сначала на таком расстоянии, чтобы пламя не касалось непосредственно болванки и нагревание ее происходило бы только лучеиспусканием костров. Нагревание и расширение будут тогда идти от концов к середине совсем постепенно, слоями, не объемлющими друг друга и не мешающими друг другу расширяться. Через некоторое время, когда брызнутое на концы болванки масло сильно дымит, костры можно придвинуть настолько, чтобы пламя лизало концы болванки. Когда, наконец, масло будет дымиться и загораться на середине болванки, то можно сажать ее в печь, не давая, однако, последней полного жара, и поднимать ее температуру весьма последовательно от темно-красного каления, когда болванка побуреет.

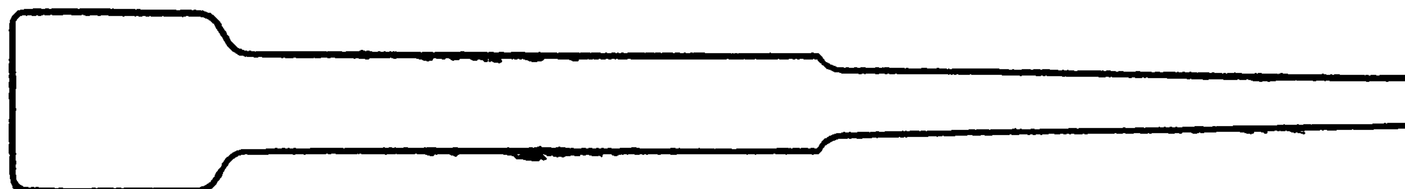
Очевидно, на изделие нельзя употребить всю болванку: усадочную воронку невозможно уничтожить под молотом, потому что ее внутренняя поверхность почти всегда покрыта окислами, а иногда и шлаками, и сваривание ее стенок не происходит. Обыкновенно утилизируют не более $^3/_4$ болванки по весу, считая от нижнего конца; по длине это составит только около $^2/_3$, так как нижний конец несколько толще и значительно плотнее; остальное же отбрасывают как негодную часть (прибыль); тогда получается здоровый кусок для выковки изделия.

Работа ковки под большим молотом есть обыкновенная кузнечная работа, только в грандиозных размерах. Круглые цилиндрические и восьмигранные призматические болванки куются обыкновенно на вырезной наковальне, причем их повертывают около оси на следующие соседние грани по очереди. Болванки для пушек и валов отливаются так, чтобы площадь поперечного сечения литой болванки приблизительно в три-четыре раза превосходила площадь будущего изделия в отковке, принимая в расчет оставляемый для окончательной обделки запас в толщине, величина которого зависит от степени пузыристости наружного слоя и притом, как мы видели выше, куется ли болванка под молотом или под жомом. При молоте обыкновенно достаточен запас наружного слоя в $^1/_2$—$^3/_4$ дюйма толщиной.

Пушечной болванке ковкой должен быть придан общий вид тела орудия, представляющий три части: дульную коническую, среднюю цилиндрическую и утолщенную казенную (фиг. 74), если орудие с клиновым затвором; если же затвор поршневой, то утолщенной части нет. То, что ска-

зано выше о площади поперечного сечения, относится к средней (каморной) части [56].

Ковкой сначала утоняют (фиг. 75) среднюю часть болванки, затем часть, бывшую при отливке внизу, доводят до того же диаметра и почти всегда успевают в этот же нагрев еще довести до окончательного размера диаметр половины средней части около замочной. Далее, при следующем подогреве, нагревают в калильной печи уже не всю болванку,



Фиг. 74

а лишь переднюю недокованную часть ее, т. е. верхний (прибыльный) конец. Нагрев продолжается часа три-четыре; после этого утоняют дульную часть до прибыли; последнюю отрубают после утонения настолько, чтобы удобно было отрубить, после чего получается болванка такого вида, как представлено на фиг. 74.

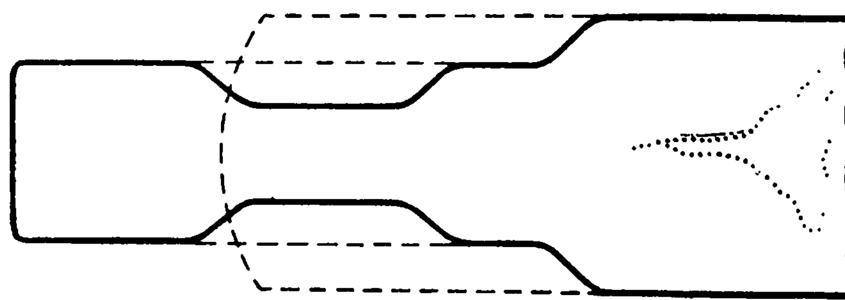
Для различных манипуляций с болванкой прежде употреблялись весьма неудобные приспособления — огромные клещи и так называемые державы. Держава — это большой четырехгранный стержень, имеющий на конце четыре лапы, которые к нему приклепаны и для большей прочности еще стянуты железными кольцами, надетыми в горячем состоянии. Лапы охватывают конец болванки (фиг. 76), и сверх них на болванку также надето в горячем состоянии несколько колец, между которыми ложится цепь подъемного крана; при таком положении цепи обыкновенно получается небольшой перевес болванки [57].

Между тем, болванку вовсе не надо держать во время ковки: она достаточно тяжела и сама может хорошо и плотно лежать на наковальне; если куется середина, то болванкою управляют двумя кранами, по обе стороны молота, причем она поддерживается двумя цепями, подведенными под концы; если куется конец, то достаточно одного крана для поддержки только другого конца.

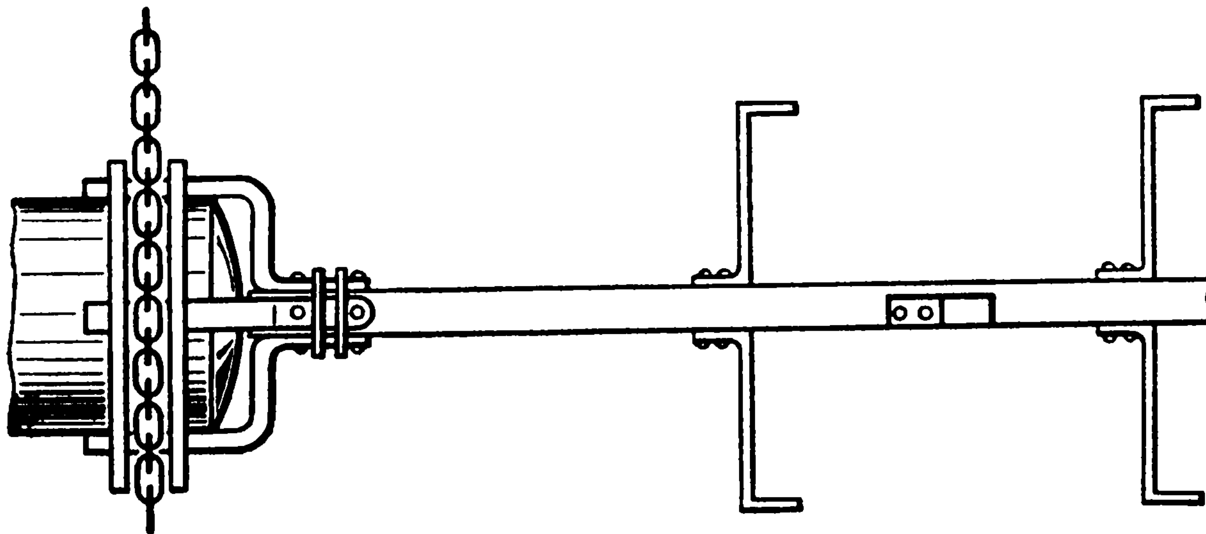
Поворот можно производить очень просто, пользуясь самим весом болванки. Болванка B лежит в бесконечной цепной петле C (фиг. 77), перекинутой через блок A; если укрепить одну ветвь петли так, чтобы она не могла опускаться (например, поддеть звено в точке a крючком, привешенным на цепи D к поперечине крана), и затем опускать блок, то будет опускаться только незакрепленная (левая) половина петли

[56] Если бы утроенную площадь отлитой болванки считать по клиновой части, то болванка вышла бы безобразно толста и коротка, что сильно затруднило бы отковку.

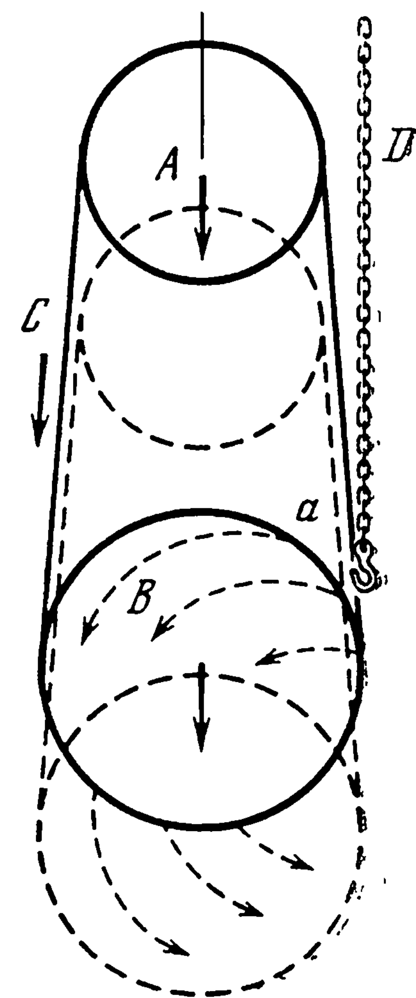
[57] Странно, что этот сложный и неудобный способ еще в 1889 г., судя по бывшим на тогдашней Парижской выставке рисункам и описаниям, применялся на больших французских сталелитейных заводах, занимающихся, между прочим, отковкою больших орудий и валов.



Фиг. 75



Фиг. 76



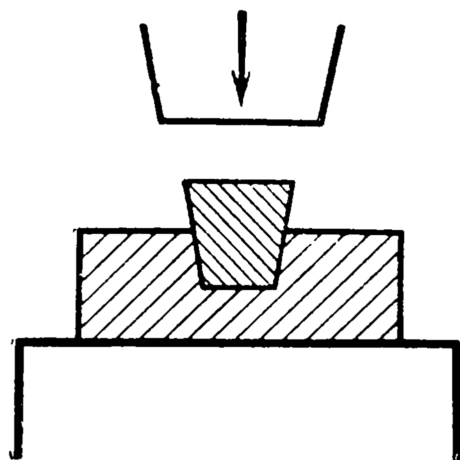
Фиг. 77

и болванка *B* будет перекатываться вместе с петлей, как показано пунктирными стрелками, опускаясь вниз, причем точка *a* остается неподвижной. Повернув болванку насколько требуется, надо уничтожить закрепление, вынуть крюк *a* и поднять блок крана до прежней высоты. Так как все эти движения совершаются помощью машины крана, то не требуется большого числа рабочих даже при болванках очень большого размера. В последнее время, в особенности с введением гидравлических жомов вместо молотов, устраиваются механические, преимущественно гидравлические приспособления для маневрирования с болванкою во время ковки.

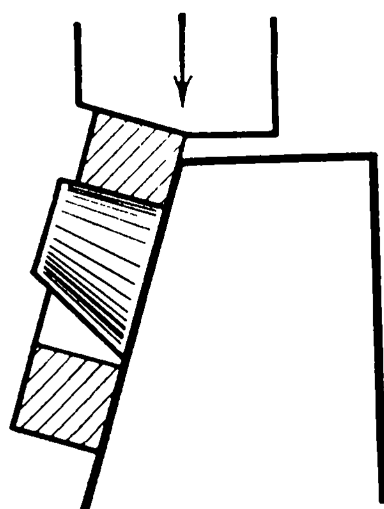
КОВКА ОРУДИЙНЫХ КОЛЕЦ

Лучшая часть отлитой болванки представляется в виде полого цилиндра, остающегося после удаления наружного пузыристого слоя и рыхлой сердцевины. Поэтому весьма естественно, что орудийные кольца выковываются именно из этого слоя. Для приготовления колец болванку вытягивают ковкой в длинный сплошной цилиндр, отрубают прибыльный конец (около 25% веса болванки) и затем оставшуюся болванку рассекают на короткие цилиндрические куски под молотом или разрезают на токарном станке. Отверстие в таких цилиндрах вырезается на токарном станке или пробивается под молотом помощью большого конического пробоя; это пробивание производится в два приема: сначала производят с одной стороны (фиг. 78) больше нежели до половины толщины (высоты) цилиндра, потом последний переворачивают и с противоположного среза уже окончательно пробивают отверстие, причем выбивается более или менее толстая плитка из середины диска, с которою удаляется

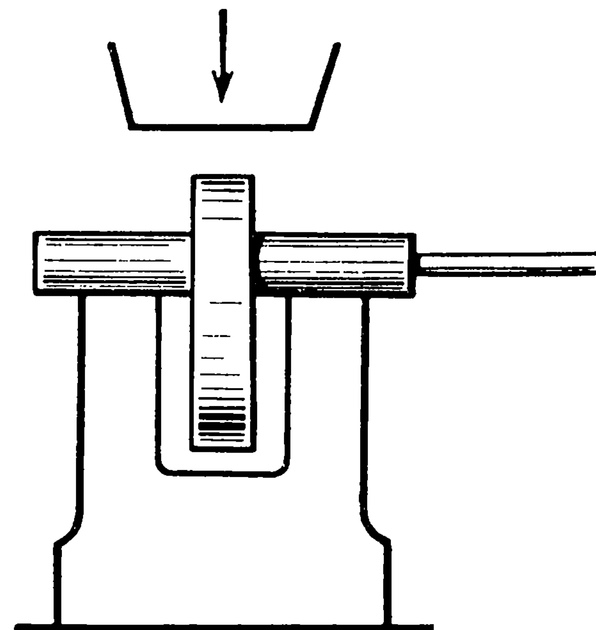
рыхлый металл сердцевины болванки. Далее, отверстие постепенно расширяется на особой наковальне с рогом (фиг. 79); в последнем случае боек молота должен иметь косой срез. Наконец, отверстие выравнивают и вместе с тем оканчивают ковку кольца на горизонтальной оправке, лежащей на особой стойчатой наковальне (фиг. 80). На некоторых заводах орудийные кольца после расковки на рогу раскатываются в особого устройства прокатных валках, где и доводятся до надлежащего диаметра, причем работа идет несравненно быстрее и равномернее.



Фиг. 78



Фиг. 79



Фиг. 80

При механической обработке стальных болванок в нагретом состоянии под молотом всегда имеют место обстоятельства, препятствующие достижению физической однородности металла во всех местах болванки; таковы неодинаковый нагрев, неодинаковое охлаждение и в особенности неодинаковое механическое действие ударов молота для различных мест болванки. Вследствие физической неоднородности развиваются внутренние частичные натяжения, которые особенно велики, если происходит наклепка, т. е. ковка при сравнительно низкой температуре [58]. Ввиду этого с прокованной болванкой нужно обращаться осторожно и по возможности уничтожать внутренние натяжения раньше, чем приступать к отделке на станке; иначе после снятия корки ось болванки искривится; сопротивление снятию стружки, вследствие неодинаковости сложения в различных местах, будет также неравномерное. Обыкновенно болванку после ковки медленно охлаждают в сухом песке или золе и затем отжигают; тогда строение металла будет повсюду одинаково и внутренние натяжения в весьма значительной степени ослабевают.

---

[58] При этом внутренние слои, охлаждаясь спокойнее и сравнительно медленнее, получают более развитое кристаллическое сложение, а наружные под влиянием ударов получают спутанное мелкокристаллическое сложение, близкое к аморфному, и меньшую плотность, нежели внутренние.

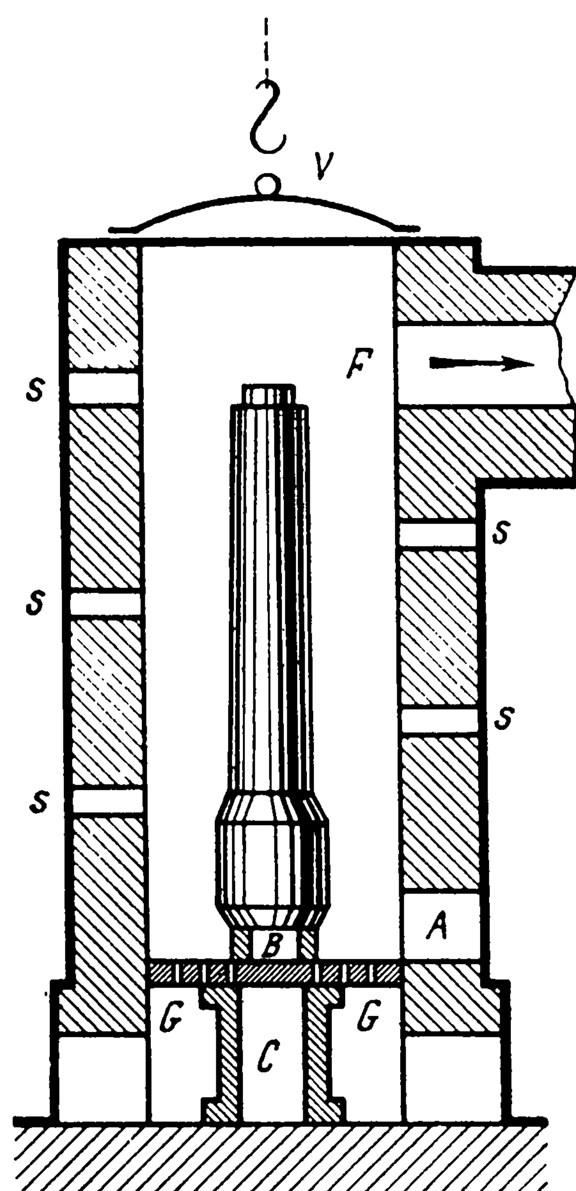
ОТЖИГАНИЕ СТАЛЬНЫХ ПОКОВОК

Мы уже знаем, в какой значительной степени можно изменять механические свойства стали, распоряжаясь условиями обработки, соединенной с нагреванием. Весьма желательно, не увеличивая веса пушки, возвысить механические качества ее надлежащей обработкой материала; поэтому нагрубо отделанную болванку принято отжигать с несколько ускоренным затем охлаждением. При этой операции имеют в виду весьма немного перегреть сталь за температуру перестроения структуры (b) и затем фиксировать полученное аморфное сложение быстрым понижением температуры несколько ниже означенного предела.

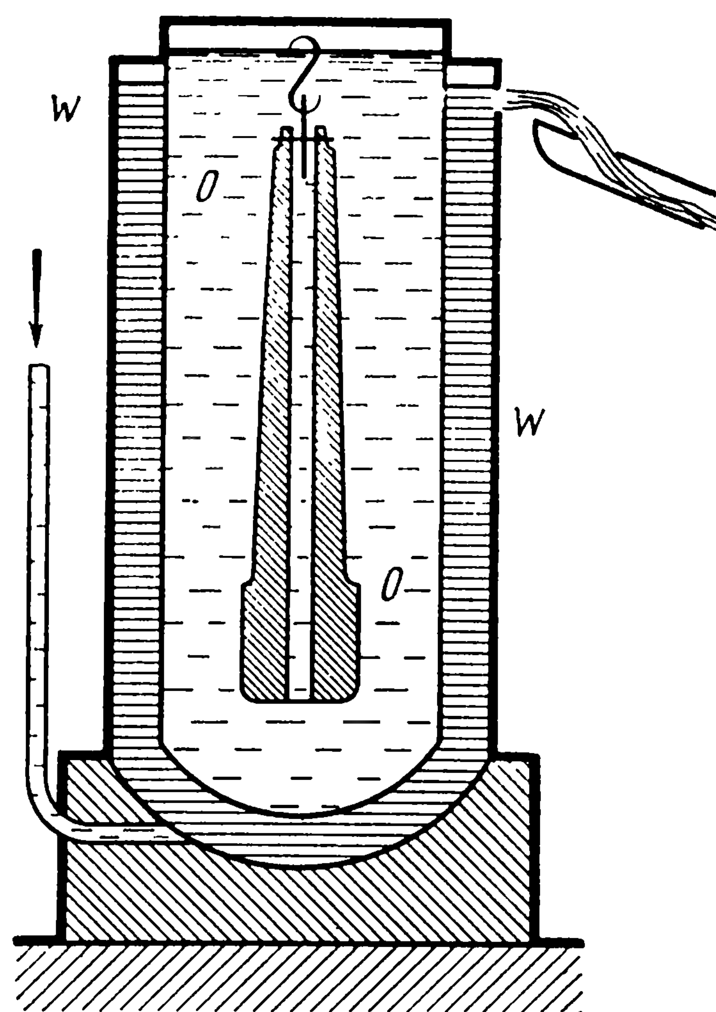
При отжигании неоходимо обращать особенное внимание на то, чтобы нагревание шло равномерно и последовательно во всех частях обрабатываемого предмета; следует избегать таких приемов и устройств, при которых некоторые части предмета, хотя и не перегреваются выше надлежащей температуры, но достигают ее значительно раньше, нежели в остальных частях, и потому остаются долгое время при температуре, высшей b, причем наступает новая перегруппировка частиц. Чтобы не перегреть отжигаемый предмет выше определенной температуры, необходимо руководствоваться пирометром (приборы этого рода описаны выше). Вместо непосредственной топки с большим успехом применяется газовое отопление нагревательной печи; еще лучше применять для равномерности нагрева муфельные печи.

Если для охлаждения возьмем холодную воду, то вследствие большой теплоемкости ее и, следовательно, быстроты охлаждения произойдет закалка наружного слоя или по крайней мере ребер и снова появятся в стенках обрабатываемого предмета значительные внутренние частичные натяжения, так как объем закаленных мест металла увеличивается иногда до 1% против незакаленных. Вследствие этого предпочитают охлаждать в масле; хотя при этом тоже происходит некоторая закалка в краях и ребрах, однако в меньшей степени, нежели в холодной воде; поэтому уже в первое время введения в практику этого способа улучшения качеств стали для охлаждения употреблялось всюду масло. Чтобы избежать закалки, держат орудие в масле очень короткое время (несколько минут) лишь бы только понизить температуру до красно-бурого каления (которое заведомо ниже температуры b); далее же охлаждают вынутое из масла орудие медленно, достигая этим уравновешивания внутренних натяжений и не опасаясь развития кристаллизации стали. В общих чертах и в упрощенном виде на фиг. 81 и 82 представлено устройство аппаратов для отжигания небольших стальных орудий.

Фиг. 81 представляет круглую вертикальную печь, внизу которой посредине установлен чугунный стул C, на нем железное кольцо B, на котором устанавливается нагреваемое орудие. Отверстие A сделано для управления топкой и для чистки печи, вверху печи канал F служит для отвода в трубу продуктов горения топлива (дров), забрасываемого на колосниковую решетку G. Сверху печь накрывается крышкой V; отверстия s служат для наблюдения за ходом нагрева орудия.



Фиг. 81



Фиг. 82

Когда нагрев орудия доведен до надлежащей степени (определяемой на основании предварительных испытаний данного сорта стали с помощью пирометра), поднимают крышку V, крюком крана зацепляют за болт, вставленный в дульном конце орудия, поднимают его, переносят к холодильнику (фиг. 82) и опускают на 2—3 мин. в резервуар O, наполненный маслом (льняным или конопляным); в этот промежуток времени температура орудия понизится с его поверхности до темно-бурого цвета; но вслед за вынутием из масла вследствие отдачи теплоты из внутренних слоев поверхность отойдет до темно-красного цвета (приблизительно до 600—650° Ц); затем орудие ставят или опять в печь (которую уже не топят и которая в это время, будучи открытой, охладилась также до темно-красного цвета), или закладывают в сухой песок или золу для дальнейшего медленного охлаждения. Из фиг. 82 видно, что резервуар с маслом O погружен в резервуар W, в котором циркулирует, как в обыкновенном холодильнике, холодная вода для предупреждения сильного разогревания масла.

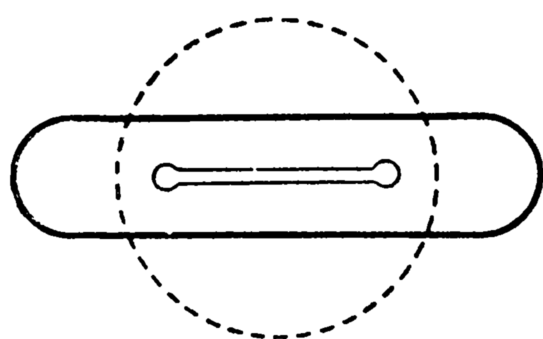
Можно было бы вместо масла употреблять горячую воду (ибо она почти вовсе не сообщает закалки даже мелким предметам и действует слабее масла), если бы выбрасывание большого количества паров и выплескивание кипящей воды из холодильного резервуара не представляло таких больших неудобств.

Так как для фиксирования аморфного сложения стали достаточно охладить ее до температуры, лишь немного низшей b, то выгоднее всего

употреблять для охлаждения жидкость, температура которой не может быть ниже высшей предельной температуры закалки. Руководствуясь этим, во Франции некоторые заводы начали отжигать орудия, даже стальные брони, с охлаждением в расплавленном свинце, причем получаются весьма удовлетворительные результаты. Этой операции подвергаются стволы, кольца и внутренние трубы орудий [59].

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЦАПФЕННОГО КОЛЬЦА

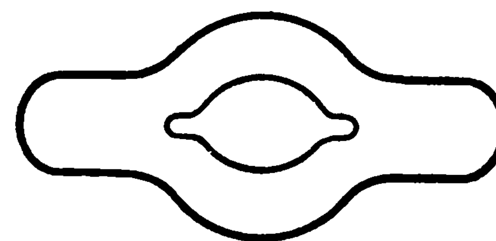
Для цапфенного кольца цилиндрический диск вырезывают из болванки большого диаметра, чтобы можно было вытянуть ковкой продолговатый брусок с округленными концами (фиг. 83), в котором, по заводскому выражению, «прошивают» продольную щель; для этого в горячем



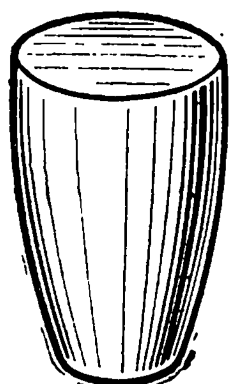
Фиг. 83



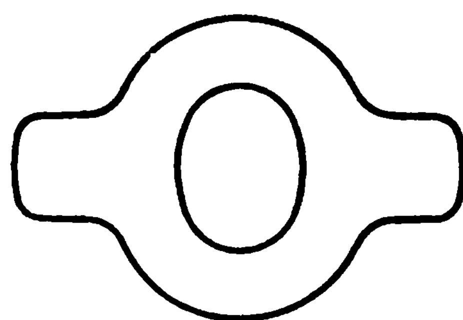
Фиг. 84



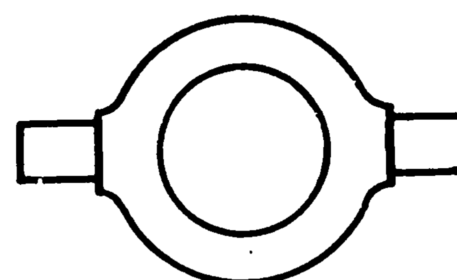
Фиг. 85



Фиг. 86



Фиг. 87



Фиг. 88

состоянии пробивают щель инструментом вроде топора, иногда же ее прорезают в холодном состоянии на станке. Далее снова разогревают кусок и расширяют щель, пропуская в нее оправку круглого сечения с клинообразно сплющенным концом (фиг. 84). Полученное отверстие (фиг. 85), неправильно округленной, почти четырехугольной формы, расправляют и расширяют, заколачивая в него молотом (при нагреве) круглую оправку (фиг. 86), вставляемый конец которой несколько сужен; после такой оправки получается уже в грубом виде форма цапфенного кольца (фиг. 87); затем на концах отобьют заплечики и откуют цапфы, тогда фигура кольца

[59] На Парижской выставке 1889 г. были выставлены образцы стали, обработанные таким способом на французских заводах; судя по прекрасному виду излома, вязкость образцов должна быть высока, испытания на разрыв показали, что предел упругости и сопротивление разрыву несколько уступают стали, закаленной в масле, а удлинения несколько более значительны.

выходит еще ближе к окончательной (фиг. 88). Иногда, чтобы избежать оставления большого запаса на отделку (если экономят металл), обковывают бока кольца, не занятые цапфами, на горизонтальной оправке (на двухстойчатой наковальне). Ныне, при существовании больших прессовжомов, можно прямо получить цапфенное кольцо штампованием, давая ему форму, очень близкую к окончательной.

НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ОРУДИЙНОЙ СТАЛИ

Хотя при обработке стали с участием теплоты для улучшения ее свойств (отжигание с охлаждением в масле) следует избегать закалки, но иногда артиллерия предъявляет такие требования, что приходится придавать изделиям более или менее заметную закалку. Требования эти, вообще говоря, далеко не везде урегулированы и не только разнятся для различных государств, но даже в одном и том же государстве иногда морское артиллерийское ведомство предъявляет требования, не согласующиеся с требованиями сухопутной артиллерии.

Предоставляя усмотрению заводов выбор того или другого способа приготовления литой стали, французская артиллерия требует, чтобы части орудия после проковки были отожжены с медленным охлаждением; после грубой обточки и сверления орудийные части вновь отжигаются с охлаждением в масле и затем отпускаются (для уничтожения могущей при этом получиться закалки); на ковку частей орудия должно быть употреблено не более 0,6 веса литой болванки, считая от нижнего ее конца; площадь поперечного сечения литой болванки должна быть не менее тройного сечения кованой.

Для механических испытаний (на растяжение) бруски вырезаются из дисков, отрезаемых от срезов стволов, внутренних труб и колец как до окончательного отжигания, так и после него; из тех же дисков вырезаются бруски для испытаний на изгиб ударами. Стволы и трубы после отжигания подвергаются особой пороховой пробе. Кольца испытываются на упругость и растяжимость вгонкою конусных растягивающих оправок. При испытании на растяжение брусков, вырезанных из отожженных частей орудия, они должны удовлетворять следующим требованиям (табл. 4).

Таблица 4

	Предел упругости, *ат*		Сопротивление разрыву, *ат*		Удлинение при разрыве, % (минимальное)
		допуск		допуск	
У казенного среза	3200	±500	6200	±800	14
У дульного среза	3500	±700	6500	±1000	14
Кольца цапефнные	3800	±800	6700	±900	12
Кольца цилиндрические	3600	±600	6600	±800	14

У дульной части требования упругости и крепости несколько большие, чем у казны, зато и допуски больше, она охлаждается в масле несколько быстрее, и в ней трудно избежать некоторой закалки. Вообще же во Франции требуется приблизительно одинаковое достоинство металла во всем стволе, это требование удобовыполнимо, когда диаметр ствола всюду почти одинаков благодаря поршневому затвору. Относительно удлинений следует заметить, что во Франции удлинения относят к длине в 100 *мм*; вследствие этого удлинение для наших образцов выразится несколько меньшим числом, примерно около 12% (точная зависимость еще не выяснена).

При клиновом затворе системы Круппа казенная часть делается толстой, и в ней уже нельзя требовать таких высоких качеств металла, как в остальных частях ствола. Устанавливая пониженные требования, приходится волей-неволей уступать настояниям заводов, которые иначе не берутся гарантировать требуемую прочность. Вследствие этого принятые у нас пределы механических качеств для стволов весьма низки, и лишь только в последнее время Обуховский завод согласился гарантировать французские пределы прочности, однако только по отношению к внутренним, сравнительно тонким трубам орудий и тонким кольцам. Что касается толстых скрепляющих колец для больших орудий крупповской системы, то Обуховский завод ставит их с пределом упругости не менее 2400 *ат* для больших калибров и не менее 2800 *ат* для морских 6-, 8- и 9-дюймовых. Для колец требования сухопутной артиллерии, по постановлению особой комиссии, остановились на следующих пределах: предел упругости 3200±400 *ат*; сопротивление разрыву 6200±700 *ат*; наименьшее окончательное удлинение 14% при длине 4 дюйма[60]. Кроме требований относительно механических качеств, показываемых испытанием образцов на прессе, той же комиссией предположено тонкие внутренние трубы испытывать еще гидравлической пробой, которую производить следующим образом. Труба закупоривается с обоих концов винтовыми пробками, внутренность ее сообщается трубкой с гидравлическим аккумулятором и подвергается давлению около 1000 *ат*. Цель подобной пробы состоит лишь в том, чтобы удостовериться в отсутствии внутренних трещин или других важных недостатков в стенках трубы. Для этого нужно только проследить деформации при давлениях, не превосходящих вычисленного, на основании результатов испытания образцов, предела упругости стенок трубы. Диаметр трубы точно промеривается в нескольких местах как до сообщения с аккумулятором, так и после открытия крана; по величине и однообразию упругих увеличений диаметров в различных местах можно судить об удовлетворительности и однородности металла; после разобщения трубы и аккумулятора и удаления из первой воды снова измеряются диаметры в тех же местах; полученные остающиеся удлинения укажут на внутренние пороки.

---

[60] Для орудий нового чертежа с поршневым затвором морской артиллерии ныне установлен минимум 3300 *ат* для предела упругости и 14% для удлинения.

Во Франции, как сказано выше. установлена еще проба колец на упругость. После того как кольца уже отделаны и рассортированы по партиям [61], выбирают два-три кольца, а иногда и больше (для морской артиллерии испытывается каждое кольцо до окончательной отделки внутри), растачивают внутри слегка на конус (уклон производящей 0,005) и растягивают на соответствующей конической оправке настолько, чтобы диаметр кольца увеличился на 0,0025 своей первоначальной величины; по выбитии оправки допускается некоторое остающееся расширение кольца, но оно не должно превосходить 0,001 первоначального диаметра. Такою пробой, очевидно, можно отбраковать все кольца с внутренними пороками или с недостаточно высокими качествами материала. Наконец, кольца еще пробуются на тягучесть [62]. Выбрав из партии одно кольцо, вгоняют в него коническую оправку до тех пор, пока диаметр увеличится на 0,003 первоначальной величины; натяжение, возбуждаемое при этом в кольце, уже значительно превышает предел упругости; кольцо при этой пробе не должно лопнуть.

ВЫГОРАНИЕ В КАНАЛАХ ОРУДИЙ

Кроме вышеприведенных требований, стремящихся обеспечить достаточное сопротивление металла давлению пороховых газов, требуется еще стойкость материала относительно разрушительного действия пороховых газов, результатом которого является выгорание канала орудия. Оно чаще всего происходит в зарядной каморе и преимущественно в верхней ее части; в этих местах сначала замечается легкий мат поверхности в виде отпечатка мелкой сетки; чаще эта сетка не сплошная, а представляет отдельные участки пересекающихся бороздок. Рисунок и величина клеток чрезвычайно разнообразны, но в каждом частном случае, для одного и того же орудия, рисунок имеет общий характер. При дальнейшей службе орудия бороздки увеличиваются по ширине и преимущественно по длине, отдельные участки сетки сходятся. Потом начинают расширяться несколько больше продольные участки борозд, в особенности близ ската каморы: образуются сплошные продольные дорожки, которые все ушир-

---

[61] Так как разность диаметров кольца и той части, на которую оно нагоняется (разность эта называется *стягиванием*), очень мала, то на точность размеров этих частей имеют уже большое влияние и устройство станка, и правильность его хода, и искусство токаря, тем более, что последний не может пользоваться при работе точным мерительным инструментом, а работает по шаблону. Чтобы не браковать слишком много колец, их сортируют по партиям, имея в виду нагонять кольца с увеличенным диаметром отверстия на более толстые стволы, а кольца с меньшим диаметром — на более тонкие.

[62] *Тягучестью* называется, как известно, свойство материала не разрываться немедленно при переходе натяжения от растягивания за предел упругости, а получать еще некоторое время остающиеся удлинения, так что разрыв отдаляется, и чем больше разница между разрывающим натяжением и пределом упругости, тем более тягуч материал. Для орудий это свойство очень важно, ибо разрыв происходит не вдруг: о нем предупреждают остающиеся растяжения. Эти соображения и заставляют отказаться от твердой стали, а употреблять сравнительно мягкую, причем стараются повысить обработкой ее предел упругости, не уменьшая по возможности тягучести.

ются и углубляются, превращаясь как бы в трещинки, и, наконец, становится несомненным, что по ним двигаются пороховые газы.

Явление это прежде объяснялось тем, что двигающиеся с большой скоростью пороховые газы, особенно прорывающиеся через зазор между снарядом и верхом каморы, действуют механически, вырывая частицы металла по пути. Но против этого объяснения говорит то обстоятельство, что вначале появляющиеся бороздки идут по всем направлениям в одинаковой степени и что выгорание сперва появляется в таких местах, где пороховые газы не могут иметь значительной скорости.

Нельзя оспаривать того, что раз углубления уже существуют, то газы двигаются по ним, избирая преимущественно бороздки, расположенные параллельно оси орудия; но причину появления борозд нужно видеть скорее в действии высокой температуры пороховых газов на тонкий соприкасающийся с ними слой металла. При том огромном давлении, которое бывает в каморе орудия, плотность раскаленных газообразных продуктов горения пороха очень велика, приближаясь к плотности твердого пороха; поэтому передача теплоты стенкам совершается очень быстро, подобно тому, как если бы к поверхности стального предмета, отшлифованной так же, как поверхность каморы, прикладывалась, например, раскаленная пластинка с таким же давлением и на такое же время, как это происходит с газами в каморе.

В заводской практике такое явление весьма обыденно, например, когда стальной штамп служит для горячей штамповки железных или стальных изделий. При такой работе изделие, уже имеющее приблизительно требуемые очертания, в раскаленном состоянии вкладывается в нижнюю половинку формы <штампа>, затем накладывают верхнюю половинку и производят быстро один удар молотом; сняв затем верхний штамп, выбрасывают отштампованную вещь, смачивают форму водой для охлаждения и тотчас штампуют следующий экземпляр. После некоторого числа штампований на поверхности штампа замечаются такие же бороздчатые узоры (сетка), как в каморе орудий, и развивающиеся совершенно аналогично выгоранию; это ясно указывает на тождественность обоих явлений.

Мы знаем, что срок службы орудий, приготовленных при видимо одинаковых условиях и из одинакового материала, изменяется в широких пределах: одно орудие выдерживает 1000 выстрелов, не обнаруживая сильных выгораний, другое едва выдержит 100 выстрелов, как уже сильные выгорания канала делают его негодным или опасным на службе. Подобно этому, из числа штампов, приготовленных на одном и том же заводе, из одинакового материала, одним и тем же мастером, один выдерживает 1000, другой 2000 штампований без поправок; иногда встречаются экземпляры, выдерживающие до 5000 штампований. На монетном дворе штампуют монету и медали в холодном виде; все штемпеля изготовляются из стали поставки одной фирмы и при закалке их придерживаются, повидимому, всегда одного и того же приема для каждого сорта штемпелей; однако несмотря на это, сроки службы штемпелей для одной и той же монеты весьма различны; чаще случается, что штемпель выдерживает

около 5000 штампований, но некоторые держат и 700, иные лишь 500, иные 10 000; попадаются штемпеля, выдерживающие даже до 70 000; наконец, в моем распоряжении имеется штемпель, выдержавший 120 000 штампований [63]. Таким образом, очевидно, что малейшее разнообразие в процессе обработки, нагревания и закаливания сильно изменяет свойства металла, и потому нечего удивляться неодинаковой стойкости стали против влияния пороховых газов и, следовательно, разнообразной продолжительности службы орудий. Что происходит при повторительном кратковременном действии на поверхность металла высокой температуры под влиянием сильного давления? Нагревается быстро тонкий поверхностный слой металла и, конечно, при этом расширяется, увеличивается в объеме; но так как расширяющая сила теплоты в таком слое не может преодолеть стягивающую силу соседних толстых слоев, более холодных, и общая площадь поверхности почти не изменяется, то расширение тонкого слоя может выразиться только в одном направлении — по радиусу, вследствие чего он утолщается и взмарщивается; при следующем затем охлаждении сжатие поверхности не может совершаться свободно, так как тому препятствуют соседние, успевшие уже нагреться вместе с ним, слои, и поверхность получает надрывы, потому что часть металла была приподнята в виде морщинок и его уже не хватает для заполнения первоначальной площади при понижении температуры. При следующем выстреле передача теплоты совершается еще быстрее, потому что образовавшиеся уже неровности увеличивают поверхность, через которую происходит передача теплоты, и газы уже несколько окружают выступающие частицы металла; поэтому явление с каждым следующим выстрелом постоянно усиливается, морщины и надрывы получаются все более значительными.

Наблюдения над веществами, способными морщиниться и трескаться от тех или других причин (например, при усыхании: глина, масляные краски, лаки и т. п.), показывают, что фигуры, образуемые пересекающимися морщинами и трещинами, для каждого вещества имеют особый вид, более или менее ясно различаемый; нередко эти фигуры почти геометрические, напоминающие пятиугольник, шестиугольник, ромб и т. д. Точно так же и сетка, появляющаяся в каморе орудий или на поверхности штампа, имеет определенный вид клеток для каждого отдельного экземпляра; характер рисунка зависит как от химического состава стали, так и от условий ее обработки.

Бороздчатую сетку, аналогичную выгарам в орудии, можно хорошо наблюдать, между прочим, на поверхности гладких закаленных листокатальных вальцов. Условия работы вальцов совершенно схожи с условиями предыдущих примеров: к поверхности их сильно и повторительно (при каждом обороте) прижимаются раскаленные железные листы и после каждого прикосновения поверхность охлаждается водой.

---

[63] Замечательно, что при холодной штамповке на поверхности штемпеля не появляется сетки бороздок; срок же службы штемпеля наступает с появлением трещины или с обкрашиванием кромок, смщнанием кромок, смщнанием рисунка, осадкой выпуклости и т. п.

Из вышесказанного видно, что высокая температура, развиваемая при горении пороха в канале орудия, представляет одну из весьма важных разрушительных сил и скорее других укорачивает службу орудий. Отсюда следует, что самым действительным средством борьбы против выгораний нужно считать, помимо состава стали и надлежащей ее обработки, возможно большее понижение температуры горения пороха, что обусловливается его составом.

ВСТАВЛЕНИЕ ТРУБ В СТВОЛЫ ОРУДИЙ

Выгорание замечалось и прежде, при чугунных и при бронзовых орудиях. Чтобы сделать вред менее чувствительным в экономическом отношении, начали делать канал в чугунных орудиях заменяемым, вставляя в орудие сравнительно тонкую стальную трубу и нарезая ее внутреннюю поверхность. Этот способ применен был впоследствии и к стальным орудиям, особенно когда стали делать эти орудия больших калибров, и выгорания стали очень велики, а в то же время ценность орудий значительно возросла. Трубы в стальных орудиях, подобно тому как в чугунных, вставлялись в холодном состоянии, не получали никаких предварительных сжатий и, следовательно, не были скреплены в нынешнем значении этого слова. На Обуховском заводе раньше всего начали вставлять внутренние трубы в морские стальные орудия. Опыты с 6- и 8-дюймовыми пушками увенчались полным успехом, а потому способ этот был применен и к большим калибрам морских орудий. Вставленные трубы служили дольше, чем внутренний слой металла в целом стволе. Это вполне понятно: трубы легки и тонки, поэтому с ними легко обращаться при обработке, ковка и отжиг гораздо совершеннее и металл выходит высшего качества. Стремление избежать лишнего металла, принимающего, по-видимому, слишком малое участие в сопротивлении разрыву, дало повод в сухопутной артиллерии к требованию вставлять трубу со стягиванием в разогретый ствол.

Как на средний между обоими предыдущими способами можно указать на вставление трубы без стягивания в нескрепленный ствол; при скреплении последнего стягивается и труба. В первом случае нет никаких затруднений при замене изношенной трубы запасною, потому что труба обтачивается слегка на конус и между нею и стволом допускается [64] некоторый весьма незначительный зазор, зависящий от совершенства станков, искусства токарей и сверлильщиков. В первый момент выстрела вследствие этого зазора труба имеет свободное расширение, пока не обопрется на ствол; во втором и в третьем случае труба с самого начала уже не только плотно прилегает к стволу, но даже стянута стволом, так что с первого же момента все слои принимают участие в сопротивлении. Понятно, что при прочих одинаковых условиях стягивание трубы во втором случае сильнее, чем в третьем.

Имея в виду, что теплота, развиваемая при горении пороха, по мере повторения выстрелов один за другим возвышает довольно значительно

[64] В идеальном случае зазора не должно быть, но тогда вставление трубы представляло бы едва одолимые трудности.

температуру внутренних слоев орудия и что при наступлении равновесия между притоком теплоты от повторяющихся выстрелов и потерей ее наружными слоями орудия в окружающую атмосферу температура внутренних слоев будет выше, нежели наружных, необходимо заключить, что стягивание во время стрельбы гораздо больше [65], чем во время бездействия, когда температура всех слоев одинакова, и что зазор, бывший между трубой и стволом при первом способе вставления трубы, не существует после двух-трех выстрелов.

Итак, недостаток, присущий первому типу сложностенных орудий, не имеет значения во время действия орудия, между тем как во втором и третьем случаях существенный недостаток, кроме вышеуказанного, составляют и те значительные трудности, которые являются при замене попорченной внутренней трубы; при этом является необходимым вполне разобрать орудие для выема старой трубы и снова собрать его после вставки в ствол новой трубы.

НАДЕВАНИЕ КОЛЕЦ

Надевание колец, пока орудия не были очень длинны, производилось весьма удобно при вертикальном положении орудия, дулом кверху,— нагретые кольца нанизывались на ствол помощью крана; чтобы ствол не нагревался, пропускали сквозь его канал холодную воду.

С увеличением длины орудий надевание колец при вертикальном положении сделалось менее удобным и требовало дорогих приспособлений (высокие краны, глубокие колодцы или ямы); поэтому большинство заводов в настоящее время надевают кольца на горизонтально расположенный ствол. В этом случае необходимо заботиться, чтобы кольцо не перекосилось и дошло до своего места; прижимание кольца производится винтовыми муфтами или на некоторых заводах просто деревянными аншпугами. Прижав кольцо, поливают его часто водой или охлаждают снегом или льдом, чтобы оно не нагревало ствола и, быстро сжавшись, позволило освободить удерживающие его приспособления.

Нагревание колец на различных заводах производится различными способами. Иногда для этого прямо разводят на полу небольшой костер дров, иногда устраивают газовые или дровяные печи, которые иногда делаются передвижными, в виде тележки с колосниковой решеткой и с кожухом для прикрывания кольца. Размер нагреваемого кольца постоянно проверяется шаблоном; когда кольцо расширится до того, что его можно посадить на ствол, его вынимают из печи, обтирают начисто от золы и копоти и затем садят на место.

Оба приведенных способа нагревания можно назвать примитивными. Самое же рациональное — нагревать кольцо погружением в ванну определенной температуры или посадкой в муфельную печь, нагретую равно-

---

[65] При стягивании внутренней трубы даже до половины предела упругости ее металла можно опасаться, что во время стрельбы стягивание перейдет значительно за предел упругости.

мерно со всех сторон также до определенной температуры, дабы кольцо не подвергалось излишнему нагреву, а тем более неравномерному со всех сторон. Для ванны удобно взять свинец. По приблизительному расчету оказывается достаточным, чтобы диаметр кольца увеличился от нагрева на 0,0025 первоначальной величины, а для этого достаточен, с запасом на охлаждение при переноске кольца, нагрев до 350, до 400°. Очевидно, при этом нет оснований опасаться изменения свойств материала кольца, найденных при испытании бруска, вырезанного из диска раньше окончательной отделки кольца. При нагревании же в обыкновенных печах может легко случиться по недосмотру рабочих, что какая-нибудь часть кольца нагреется до красного каления и кольцо будет повреждено, так как однородность качеств металла будет нарушена.

Для снимания колец (в случае неправильной посадки при надевании или в случае перемены трубы, вставленной с натяжением) нужно их снаружи разогреть и в то же время ствол изнутри охлаждать. Если можно поставить орудие вертикально, то нагревание очень удобно производить, обвешивая его снаружи жаровнями; внутри же ствола одновременно пропускают ток холодной воды. Через 2—3 часа кольца ослабнут (о чем узнают легким постукиванием молотка), на них надевают хомуты и снимают посредством крана. Если при стягивании не был перейден предел упругости, то снятое кольцо должно иметь тот же диаметр, что и до надевания, в противном случае кольцо не может быть надето вновь на то же место при сборке орудия; опыт показывает, что таких колец попадается очень мало.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЕПУШЕЧНОГО ДЕЛА [22*]

В настоящее время не на всех пушечных заводах производство стальных орудий ведется вполне рационально. Первый завод, начавший изготовлять стальные орудия, был завод Круппа, а следующие были русские заводы; последними следует считать французские заводы [66], ибо в Англии, хотя артиллерия долго и упорно держалась железных орудий системы Армстронга и вульвичской, существовали сталепушечные заводы, изготовлявшие как внутренние стальные трубы для английских орудий (чугунных и железных), так и стальные орудия для других государств. Оказалось, что французские пушечные заводы, несмотря на более позднее возникновение, далеко опередили все прочие как по приготовлению самого материала и его обработке, так и по механической отделке орудий. Там хорошо поняли всю важность влияния изменений температуры на качества стали и придумали сравнительно точные заводские приборы для измерения температур нагрева стали. Там же широким опытом доказали полную возможность употребления дешевой бессемеровской и мартенов-

[66] В очень недавнее время правительство Северо-Американских Штатов также водворило туземное изготовление стальных орудий и брони в больших размерах и быстро довело эти производства до уровня самых крупных европейских заводов, отчасти даже превзошло их.

ской стали, вместо дорогой тигельной, на изготовление всех частей орудий самых больших калибров.

У нас в России тигельная сталь до сего времени пользуется предпочтением для пушечного дела не только в глазах артиллеристов, но даже и самих представителей заводов; не раз возбуждался вопрос о том, чтобы оставить дорогой тигельный способ, но сами заводчики не доверяли своей бессемеровской и мартеновской стали, чем поселяли такое же недоверие у своих заказчиков-артиллеристов и прямо ставили последним в необходимость требовать употребления на дело орудий преимущественно тигельную сталь, так как в противном случае заводы отказывались удовлетворять тем требованиям, которые ставили артиллеристы по отношению к качеству металла.

То, что говорилось до сих пор о приготовлении стальных орудий, относится к обыкновенному способу, т. е. с механической обработкой литой болванки под молотом или жомом. Мы уже знаем, что ковка не уплотняет стали как сплошного материала и что только при весьма небольшой толщине проковываемого слоя можно ожидать уплотнения заключающейся в ней рыхлости и уменьшения объема частных или местных усадочных пустот. Вообще же говоря, молотом сминается по преимуществу наружный слой литой болванки и уменьшается объем большой внутренней общей усадочной пустоты.

Во Франции, как только нашли способ получить беспузыристую отливку из стали посредством прибавки кремния, сейчас же попытались применить этот способ к изготовлению самых дорогих стальных изделий — артиллерийских орудий. На заводе Терр-Нуар, где впервые введен был этот способ в больших размерах, орудийная болванка отливалась в земляную форму, получая вид и размеры, весьма близкие к окончательным. Далее она подвергалась предварительному отжиганию для изменения строения стали в мелкозернистое, затем грубой отделке на токарном и сверлильном станках, после чего качество материала возвышалось отжигом с ускоренным охлаждением в масле и надлежащим отпуском, и, наконец, следовала окончательная отделка. Такие некованые орудия как по механическим качествам стали, так и по результатам пороховой пробы удовлетворяли требованиям французской артиллерии. Однако финансовые обстоятельства завода ко времени окончания этих опытов были весьма затруднительны, так что в скором времени он принужден был прекратить производство и ликвидировать свои дела. Тем не менее идея о приготовлении стальных орудий без механической обработки стали, впервые зародившаяся на *русской почве* и так блестяще подтвержденная на практике опытами завода Терр-Нуар и многими исследователями в других странах, не могла не привести к прочному водворению такого производства орудий. И действительно, Швеция, страна с высокоразвитой горнозаводской промышленностью, вынесшая на своих плечах бессемеровский процесс, когда последнему готовилось полное фиаско в Англии, нашла вполне возможным для своего вооружения приготовлять весьма хорошие орудия из дешевой мартеновской стали без всякой механической обработки, ограничиваясь лишь манипуляциями отжигания с медленным и быстрым охлажде-

нием и отпусканием для изменения структуры стали и возвышения механических качеств последней.

В 1886 г. завод Бофорс решился установить производство стальных орудий на этих началах, и первые приготовленные им экземпляры 8,4-сантиметровых пушек выдержали блистательно пробу, причем испытание металла на разрыв дало предел упругости около 3400 *ат*, сопротивление разрыву около 6300 *ат*, удлинение при разрыве 20%. Эта проба показала, что вышеуказанным способом можно легко удовлетворить даже тем высоким требованиям, какие предъявляются французскою артиллериею.

Все сказанное в этом разделе показывает неосновательность существующего в России предубеждения против употребления на дело больших орудий мартеновской и бессемеровской стали, а также против основной идеи о возможности изменять качество стали в желаемом направлении, не прибегая к ее механической обработке, а следовательно, против упрощения и удешевления производства стальных орудий.

БРОНЕБОЙНЫЕ СНАРЯДЫ

С развитием сталелитейного дела и вообще металлургической промышленности заводы получили возможность увеличивать толщину и прочность железной брони, назначаемой для защиты флота от артиллерии; вследствие этого и артиллерии пришлось, в свою очередь, озаботиться изысканием средств уязвлять броненосный флот, прикрытый более прочной одеждой. От бронебойного снаряда, кроме баллистических качеств, требуется еще и возможно большая стойкость при ударе в броню, т. е. сохранение цельности и неизменяемость формы [67].

До развития в больших размерах сталелитейного дела наиболее стойкими были снаряды из закаленного чугуна, что весьма понятно, потому что отбеленный чугун представляет весьма большое сопротивление сжатию, да и обработка небольшой массы снаряда могла быть совершеннее, чем обработка толстых и больших железных броневых плит. Но когда в Англии начали облицовывать железные плиты сталью, то деформация брони затруднилась, остановка снаряда при ударе стала резче, а сжимающее усилие больше [68], так что закаленный чугун и мог еще противостоять сжатию по оси, то уже выпучивание в стороны, сопровождающее это сжатие, переходило (вследствие очень малой тягучести чугуна) в разрушение, т. е. снаряд разбивался на куски.

За несколько времени до появления сталежелезной брони является стремление придавать броневым поверхностям выпуклую форму (башни, куполы, грюзоновские батареи, казематы) с целью уменьшить действительность удара, направленного не по нормали к броне; при ударе же под углом к нормали: 1) толщина брони по направлению удара выходит

---

[67] Ибо чем большая часть живой силы ударяющего снаряда израсходуется на деформацию и разрушение самого снаряда, тем меньшая часть ее идет на деформацию броневой плиты.

[68] Это видно из выражения $F={}^1/_2mv^2/\Delta S=mv/\Delta t$.

больше, 2) в случае очень косвенного удара возможно скольжение, 3) и главное — появляются изгибающие силы, которым материал снаряда (чугун в особенности) сопротивляется гораздо хуже. И действительно, при косвенном ударе снаряды закаленного чугуна раздроблялись *непременно*, так что не могли удовлетворять новому требованию, представляемому при заказах, а именно, чтобы снаряд оставался целым при косвенном ударе в броню под определенным углом (25°).

Во Франции на заводе Терр-Нуар, между тем, производились опыты приготовления литых некованых, но закаленных снарядов из мартеновской стали, т. е. по возможности дешевых, но вместе с тем таких качеств, чтобы снаряды выдерживали косвенный удар в броневую железную плиту, не разбиваясь. В 1874 г. опыты завода увенчались полным успехом: так, например, 9-дюймовый снаряд при ударе в броню под углом 25° к нормали с небольших расстояний пробивал 8-дюймовую железную плиту, утвержденную на прочной брусчатой подкладке, и оставался целым.

Приняв за образец такие снаряды, русские сталелитейные заводы вскоре могли удовлетворить потребность в них (для 9- и 11-дюймовых орудий) нашей артиллерии. Подробности производства снарядов на заводе Терр-Нуар не были известны, и каждый русский завод достигал путем опытов наилучших способов беспузыристой отливки и наиболее целесообразной закалки. Сталь употреблялась бессемеровская и мартеновская, с содержанием около 0,8% углерода.

Ввиду того что приготовляемые русскими заводами 11-дюймовые снаряды, пробивая 12-дюймовую броню при косвенной стрельбе, не всегда оставались целыми, артиллерийское ведомство вызвало конкуренцию между заводами Круппа и Терр-Нуар на изготовление наилучших качеств 11-дюймовых стальных снарядов, отвечающих условию неразбиваемости при косвенном ударе в 12-дюймовую броню. В январе 1881 г. представленные на пробу снаряды завода Круппа пронизывали броню почти без всякой деформации. Вместе с тем, на основании вновь произведенных опытов в Англии и на заводе Круппа, артиллерийское ведомство нашло возможным для 11-дюймовых стальных снарядов при косвенной стрельбе 12-дюймовую броню заменить 15,5-дюймовую, при ударе в которую снаряд хотя и не пронизывал броню, однако оставался бы цельным, претерпевая лишь незначительную деформацию. На опыте оказалось, что крупповские 11-дюймовые снаряды, выпущенные в 15,5-дюймовую плиту под углом 25° к нормали со скоростью около 1500 футов в секунду, углублялись на 11—12 дюймов (считая по нормали) и отскакивали от плиты целыми; только близ наиболее напряженного (так называемого «опасного») сечения появлялись меридиональные трещины, которые, как показала гидравлическая проба, не были сквозными. Представленные же заводом Терр-Нуар 11-дюймовые снаряды оказались по качествам значительно ниже крупповских, даже при испытании в 12-дюймовую броневую плиту. Снаряды Круппа долго потом считались идеальными, и к этому идеалу стремились приблизиться все конкурировавшие на предстоявшие заказы русские заводы; но Крупп долго первенствовал в этом деле, храня способ приготовления своих снарядов в строгом секрете, и, конечно, делал боль-

шие поставки в русскую артиллерию. На русских заводах, после многих неудачных попыток приготовить удовлетворительный 11-дюймовый бронебойный снаряд, вопрос долго оставался неразрешенным. Химическое исследование показало, что сталь у Круппа имеет обыкновенный состав (углерода около 0,8%); очевидно, суть дела заключалась в обработке, главнейше в способе закалки.

Исследование 11-дюймового крупповского снаряда (надрезанного и сломанного вдоль) показало (см. стр. 72—76), что, начиная с расстояния около 5 дюймов от дна, закалена наружная поверхность стенки и закаленный слой постепенно утолщается к изолирующему пояску, достигая в этом месте толщины около 4—3,5 *мм*; отсюда толщина закаленного слоя уменьшается к середине оживальной части до 1 *мм*, затем к вершине опять утолщается до 2—3 *мм*, как показано на фиг. 1 на стр. 78. Закалка внутренней поверхности, начинаясь у вершины толщиной около 2,5 *мм*, постепенно утоняется по мере удаления от вершины, исчезая на расстоянии от нее около 4—5 дюймов. На изломе стенок, дна и головной части снаряда никаких литейных пороков в стали не обнаружено, даже при рассматривании в сильную лупу.

Применяя прием, рассчитанный на получение вышеописанной закалки, на Обуховском заводе был приготовлен 11-дюймовый снаряд, который при пробе на главном артиллерийском полигоне 17 декабря 1885 г. в тех же условиях, как и снаряды Круппа, остался цел, дав несколько небольших трещинок. Принимая во внимание, что это был опытный снаряд, можно смело сказать, что производство их в России скоро бы установилось, если бы опыты с настойчивостью были продолжены [23*].

Вслед за тем английский флот оделся сталежелезною бронею, против которой и крупповские снаряды не только при косвенной стрельбе, но и при нормальной оказались бессильными; они разбивались на куски, подобно тому как снаряды закаленного чугуна при косом ударе в толстые железные плиты. Явились новые требования от бронебойных снарядов; этим требованиям могли удовлетворить только французские заводы; их снаряды оставались целыми при нормальном ударе в сталежелезную плиту, давая лишь небольшие трещины. . .

Французский завод С. Шамон открыл в Петербурге филиальное отделение для производства снарядов из хромистой стали и поставки их в русскую артиллерию; сколько известно, поставленные им партии 11-дюймовых снарядов не вполне удовлетворяли требованиям пробивания сталежелезной 15,5-дюймовой брони, не разбиваясь; за неимением, однако, лучших снарядов, они принимались. В последнее время на Путиловском сталелитейном заводе введен способ приготовления стальных снарядов 11- и 12-дюймовых калибров. Судя по результатам испытания пробных снарядов стрельбой в сталежелезную и в сплошную стальную броню, представленные снаряды удовлетворяют вышеозначенным условиям испытания; сталь по составу хромистая и обладает весьма большим сопротивлением.

По отношению к крупповским 11-дюймовым снарядам для косвенной стрельбы в железную броню выяснены следующие данные.

При испытании на разрыв образцов, вырезанных из различных мест снаряда, получены следующие средние результаты в круглых числах.

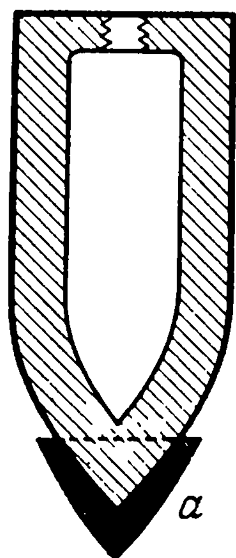
	Предел упругости, *ат*	Сопротивление разрыву, *ат*	Удлинение при разрыве, %
Головная часть	6500	11 000	6
Боковые стенки	8000	12 000	5
Дно	4500	9 000	6

Принимая во внимание эти результаты, для других заводов также было установлено сначала испытывать на разрыв материал нескольких снарядов из представленной партии, и если механические качества стали окажутся близкими к крупповским, то лишь в этом случае допускать стальные снаряды к испытанию стрельбою, дабы не портить напрасно плиты и не входить в расходы по стрельбе. Снаряды, выстреленные косвенно в плиту, должны были остаться целыми и во всяком случае не дать сквозных трещин; уклонение вершины оси снаряда, в случае косвенной стрельбы, допускалось не более 1 дюйма (у крупповских снарядов оно было менее $^3/_4$ дюйма); сжатие по оси (посадка) допускалась в $^3/_4$ дюйма (у Круппа $^1/_2$ дюйма). Впоследствии, когда появились снаряды из хромистой стали французских заводов, условия несколько изменились и при каждом заказе предлагались особые требования, вводимые в контракты. Впрочем иногда, за неимением лучшего, артиллерийское ведомство принимает снаряды, и не вполне удовлетворяющие поставленным требованиям.

Проследим в коротких чертах обстоятельства, сопровождающие удар снаряда в броню. При углублении снаряда в броню сопротивление увеличивается одновременно с увеличением проекции поверхности соприкосновения на плоскость, нормальную к скорости; вместе с тем возрастает и укоснение (отрицательное ускорение) снаряда. Пусть снаряд углубился, например, на всю величину сплошной части (до уровня внутренней пустоты); если это сечение остановки имеет и наибольшую площадь (занятую материалом), то и сопротивление брони в это время почти наибольшее, так что укоснение снаряда, а следовательно, и напряжение от сжатия здесь также достигают почти наибольшей величины. Вся сзади лежащая часть имеет огромную скорость и действует, как молот, сжимая тонкий слой, находящийся на границе между частью снаряда, не вошедшею в броню, и частью, уже упертою в нее. При сжатии происходит всегда расширение в стороны — увеличение наружной окружности; если металл однороден и совершенно вязок, то он не должен дать при этом трещин; но снаряд из такого однородного и вязкого материала расплющился бы и не пробил бы брони: вся работа израсходовалась бы на его деформацию. Если же материал однороден, очень тверд и не вязок, то он не может разбухать, а потому, если в момент наибольшего сопротивления брони напряжение от сжатия снаряда не превзойдет предела упругости его материала, то он пройдет сквозь броню, или в ней остановится, или отскочит назад (смотря по толщине и по качествам брони) без всякой деформации.

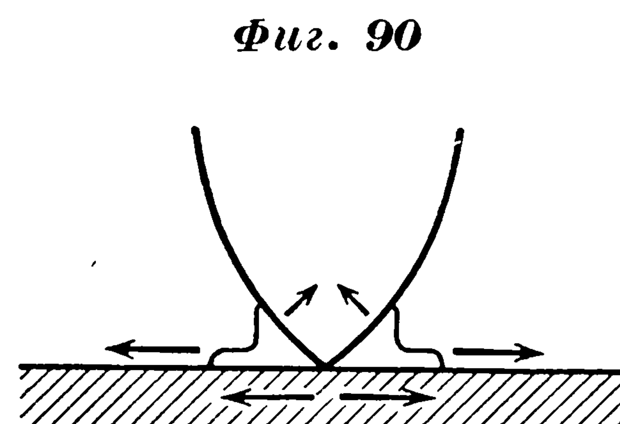
Если же вышеозначенное напряжение превзойдет предел упругости материала снаряда, то он расколется на куски. Отсюда видно, что для более совершенного снаряда, если не имеется твердого материала с весьма высокими механическими качествами, нужно соединить твердость с вязкостью. Если у снаряда есть твердая оболочка, то она не даст ему расплющиться, но сама от распирания внутреннего металла даст трещины; чтобы трещины не были сквозными, нужно затруднить разъединение частей твердой оболочки; для этого твердая оболочка должна быть крепко связана с остальной внутренней массой, настолько прочной и вязкой, чтобы она сама не давала трещин при разбухании от сжатия. Крупп делает твердую оболочку для головной и почти всей цилиндрической части как изнутри, так и снаружи снаряда посредством сильной закалки. Надо уметь сочетать твердую оболочку с вязкой внутренней массой, достаточно крепко связать их, соотношение их толщин отыскать надлежащее и избежать развития сильных внутренних натяжений. Оказывается, как это было сказано раньше, что хром позволяет стали принять сильную закалку снаружи и в то же время сообщает незакаленной массе большое сопротивление на растяжение и сжатие, а также вязкость и упругость. При закалке важно нагреть сталь до надлежащей температуры и отыскать способ охлаждения, при котором закаливается слой данной толщины и в данной степени, без развития чрезмерных внутренних натяжений; стало быть, надо по возможности точно измерять температуру нагрева и подыскать опытом охлаждающую жидкость, ее температуру и прием, которым она приводится в соприкосновение с закаливаемой поверхностью. Благодаря такому количеству влияющих обстоятельств операция закаливания усложняется до крайности, требует долгих изысканий и должна совершаться под руководством сведущих людей. Вот те указания, какие мы можем извлечь из рассмотрения главнейших обстоятельств, имеющих место при ударе снаряда в броню [69].

[69] Года три тому назад адмирал С. О. Макаров предложил снабжать стальные снаряды колпачками из сравнительно мягкой и вязкой стали (фиг. 89, колпачок *a* зачернен в разрезе). Снаряды одной и той же партии, разбивавшиеся в куски без колпачков, легко пробивали броню насквозь и оставались совершенно цельными, когда снабжались колпачками из вязкого металла. Действие колпачка можно объяснить следующим образом. В момент прикосновения вершины снаряда к броне колпачок уже наполовину расплюснут (фиг. 90); в массе его металла в это время развивается громадное внутреннее давление, с одной стороны, сжимающее вершину снаряда и предохраняющее ее от расплющивания, а с другой стороны, вследствие громадного трения о броню, стремящееся разъединить частицы брони у вершины снаряда. Вопрос этот пока еще недостаточно разработан.



Фиг. 89

Фиг. 90



БРОНЕВАЯ ОДЕЖДА СУДОВ

В первое время возникновения броненосного флота броневые плиты прокатывались из мягкого сварочного железа и имели толщину около 3—4 дюймов [24*]. По мере того как усиливалась пробивающая способность снарядов береговой артиллерии, толщина железной брони все более и более возрастала; в особенности быстро шло возрастание в семидесятых годах; наконец толщина железной брони достигла 20 дюймов. Когда же и этого оказалось недостаточно, то в Англии (на заводе Каммеля) были направлены усилия комбинировать твердую стальную одежду с железной, играющей роль вязкой сдерживающей подкладки; почти одновременно во Франции пытались приготовить сплошные стальные брони. Сталежелезные плиты на первых же порах по сравнению с железными оказались превосходными: железная подкладка действительно не давала твердой стальной облицовке распадаться на куски, и даже трещины часто бывали несквозные, стальная же лицевая сторона представляла настолько твердую поверхность, что тогдашние снаряды не могли проникать в нее, не разбиваясь. Сварка железа со сталью представляет, однако, большие трудности и тем бо́льшие, чем тверже сталь и толще броня, ибо чем ниже критическая температура стали, тем осторожнее приходится нагревать плиту, чтобы довести железо до температуры вара и в то же время не пережечь сталь.

На заводе Каммеля сначала приготовляют из сварочного железа толстый пакет и прокатывают его в плиту, которую вслед за тем вкладывают в сильно раскаленном состоянии в изложницу, имеющую вид большого плоского ящика; внутренняя высота ящика превышает в полтора раза толщину железной плиты. Один из узких боков ящика открыт; ящик ставится на ребро открытым боком вверх, а над ним вдоль щели (которая рядом с ребром железной плиты) ставится жёлоб с отверстиями; в жёлоб пускают из чана расплавленную сталь (обыкновенно из мартеновской печи), которая многими небольшими струями наливается в пространство изложницы, не занятое железным пакетом. Во время заливки стали она приваривается к железу, раскаленному докрасна. Когда сталь застынет, плиту вынимают из изложницы и еще прокатывают между валками, чтобы более обеспечить приваривание стали и по возможности выжать попавшие в спай шлаки и сжать пузыри и усадочные пустоты в залитой стальной части теперь уже сложной плиты. По-видимому, способ этот очень хорош, но на самом деле полного приваривания в большинстве случаев не бывает, во-первых, потому, что жидкая сталь встречает нечистую, покрытую окислом поверхность железного пакета, а во-вторых, потому, что окисленная поверхность железа, служа как бы стенкой изложницы для жидкой стали, способствует образованию пузырей в слое стали, непосредственно примыкающем к железной плите. Для устранения пузыристости, как было говорено раньше, прибавляют обыкновенно в сталь кремния и марганца; но так как на дело сложных плит, для получения твердой лицевой стороны, идет твердая (углеродистая) сталь, то вредное влияние кремния (уменьшение вязкости и прочности) уже выражается весьма заметно; осколки плит завода Каммеля показывают сухой излом,

напоминающий излом чугуна, причем характеристический признак хорошей вязкой стали — занозистость — вовсе не замечается в изломе.

Производство сталежелезных плит развилось преимущественно в Англии, где ими до последнего времени одевался весь военный флот. Наше морское министерство ввело 15 лет тому назад производство сталежелезных плит на Колпинском заводе. К сожалению, в России результаты получались хуже, чем в Англии, и, кроме того, техническая сторона дела находилась в руках английской компании того же завода Каммеля, так что по истечении срока контракта (1891 г.) броневое производство не осталось вполне упроченным в России; наступивший затем переход к введению у нас производства сплошных стальных плит потребовал новых и продолжительных опытов. Стальные плиты, как сказано раньше, начали изготовлять во Франции; на первых порах эти плиты часто раскалывались от удара снаряда, и потому от их применения к бронированию судов долго воздерживались. Однако французские заводы продолжали разработку этого вопроса, и на Парижской Всемирной выставке в 1878 г. заводы Крезо и Фуршамбо выставили громадные стальные плиты, как сваренные из отдельных пластов мягкой стали, так и сплошные, испытанные стрельбою. Опыт показал, что французские заводы достигли весьма хороших результатов, снаряды увязали в броне или пронизывали ее, не производя трещин; с тех пор производство это сильно пошло вперед, и теперь повсюду новые военные суда одеваются преимущественно стальными плитами. О развитии и значении броневого производства можно судить по грандиозности механических приспособлений [70]. В настоящее время стальные плиты обладают большой вязкостью и при одинаковой толщине с железными требуют для произведения того же эффекта приблизительно в 1,5 раза большей энергии снаряда.

Приемы, употребляемые для уменьшения в сталежелезных плитах пороков, происходящих от медленного застывания стали, далеко не достигают цели: от прибавления в сталь кремния (сплава — кремнистого железа) получаются сравнительно слабые механические качества; прокатывание между валками при небольшом нажиме и большой толщине плиты не может иметь большого влияния на внутренние слои близ спая. При сплошных стальных плитах толщина литой болванки уменьшается при прокатке почти втрое (1,8—0,6 *м*), следовательно, пузыри и усадочные пустоты сжимаются в значительной степени; кроме того, вся прибыльная часть болванки здесь отрезается прочь и на выделку брони идет только здоровая часть болванки, чего нет в сталежелезных плитах. Независимо от всего сказанного, при стальных бронях прибегают еще и к обработке помощью отжига с быстрым охлаждением. Так как для охлаждения такой огромной массы горячего металла в масле ее пришлось бы продержать в ванне значительное время (причем ребра могли бы получить закалку

[70] Например, на заводе С. Жак новый прокатный стан для прокатки стальной брони: длина прокатных валков — 4 *м*, вес каждого валка — 30 *т*. Толщина болванки до первого обжима может доходить до 1,80 *м*, толщина прокатанной брони — до 0,60 *м*, вес — до 60—80 *т*. Наибольшая ширина обстроганной плиты — 3,20 *м*; вес готовой плиты — до 40 *т*.

и вообще появиться внутренние натяжения), то здесь с успехом употребляют ванну из расплавленного свинца, перегретого до температуры около 400°; тогда уже нет никаких следов закалки. Хотя сплошные стальные плиты получались, как сказано, очень хороших качеств, однако закалка лицевой стороны плиты, как показал опыт, значительно увеличивает ее прочность и неуязвимость, в особенности, если эта сторона перед закалкой процементована углеродом на некоторую глубину. Такая цементация была впервые патентована Гарвеем, отчего операция эта получила название гарвеирования.

В составе стали, идущей на изготовление брони, в настоящее время замечается довольно большое разнообразие: одни предпочитают сталь средней твердости с цементацией и закалкой лицевой стороны, другие предпочитают сталь с небольшим содержанием углерода (0,25—0,40%) и 2—3% никеля, с цементацией или без цементации лицевой стороны, третьи берут сталь, содержащую большое количество марганца и средней твердости по углероду; наконец, предприняты опыты со сталью, содержащей одновременно хром, никель и марганец или же по два из этих металлов с большим или меньшим содержанием углерода. Таким образом, в настоящий момент было бы очень трудно определить, за каким металлом для брони останется победа, тем более, что и с бронебойными снарядами опыты далеко еще не окончены [25*].

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПРОБИВАЕМОСТЬ БРОНЕВЫХ ПЛИТ

Взяв для примера плиту в 200 *мм* толщиною, испытываемую орудием 194-миллиметрового калибра, имеем следующие данные, основанные на многочисленных опытах.

Для плиты из пудлингового железа пробивание достигается при скорости снаряда 385 *м*, для плиты из сплошной литой стали скорость снаряда должна быть 471 *м* (при этой скорости пробивается железная плита толщиной 280 *мм*, т. е. на 40% толще стальной).

Для хромоникелевой плиты скорость снаряда должна быть 528 *м* (а эта стойкость соответствует железной плите в 330 *мм* толщиною, т. е. на 65% толще).

Для хромоникелевой цементованной плиты скорость снаряда должна быть 612 *м* с коэффициентом только 1,30 (этой плите соответствует железная в 416 *мм* толщиною, т. е. в 2,08 раз толще).

Что касается новейшего времени, то для пробиваемости брони из специальной стали, с цементованием и закалкой, можно принять процентов на 30—35 высшее сопротивление, так что новейшая броня выходит наполовину тоньше прежней железной, а при равной толщине с последней требует для ее пробивания почти четверную энергию против железной (полагая вышеуказанный коэффициент равным 1,45—1,50 и скорость около 700 *м*).

Отсюда видно, насколько морское ведомство должно быть заинтересовано в успехах металлургии для облегчения брони при ее высшей неуязвимости и через то получить возможность усилить боевую способность судна.

ПРИЛОЖЕНИЕ

БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

•

БИБЛИОГРАФИЯ

•

ПРИМЕЧАНИЯ



Д. К. Чернов (первый ряд, в центре) среди металлургов-экспертов на Всемирной выставке в Париже в 1900 г.

А. С. Федоров

ОЧЕРК ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Д. К. ЧЕРНОВА

С именем Дмитрия Константиновича Чернова связана целая эпоха в развитии металлургического производства и науки о металлах. Научные открытия, сделанные этим выдающимся русским металлургом, легли в основу совершенствования ряда важнейших процессов получения и обработки металлов — выплавки чугуна и стали, ковки и прокатки, отливки и термической обработки стальных изделий. Д. К. Чернов явился основоположником новой отрасли науки — учения о строении металлов и сплавов. Научные идеи Чернова и теперь широко разрабатывают металлурги и металловеды всех стран, обогащая науку о металлах и практику их производства новыми замечательными открытиями.

ПУТЬ К ЗНАНИЯМ

Дмитрий Константинович Чернов родился в Петербурге 20 октября (1 ноября) 1839 г. в семье заводского фельдшера. В 1852 г., по окончании Введенского уездного училища, Чернов поступает в Петербургский практический технологический институт, основанный в 1828 г. на базе Горной технической школы. Технологический институт отличался хорошо поставленным процессом обучения, практической направленностью изучаемых дисциплин. Его первыми директорами были видные руководители отечественной горнозаводской промышленности — К. Ф. Бутенев, И. П. Чайковский, Я. И. Ламанский. Многие опытные горные инженеры преподавали в Институте. Гордостью педагогического коллектива Технологического института были выдающиеся русские ученые: химик Д. И. Менделеев, механик И. А. Вышнеградский, специалист в области минералогии и механической обработки металлов А. В. Гадолин, механик и математик И. П. Петров и ряд других крупных деятелей науки и техники. Они умели не только увлекательно изложить свой предмет, заинтересовать слушателей, но ярко представить практическое значение изучаемых наук. Это не могло не способствовать тому, что студенты Технологического института еще в процессе обучения избирали направление своей будущей деятельности.

Увлечение молодого Чернова горным делом, производством и обработкой металлов, прикладной механикой обратило на себя внимание профессоров и администрации Института. В июне 1858 г., с отличием окончив Петербургский практический технологический институт, Д. К. Чернов получил приглашение остаться при одной из его кафедр. Однако молодому инженеру хотелось прежде всего подкрепить полученные знания практическим опытом; его влекло производство. Со званием кондуктора первого класса, он направляется на Петербургский монетный двор — одно из старейших промышленных предприятий города на Неве.

Монетный двор в Петербурге был основан в 1724 г. В его программу входило изготовление монет, орденов, медалей и других знаков отличия, выполненных из различных металлов — золота, серебра, медных сплавов и т. д. Эта работа требовала большой точности, поэтому на Монетном дворе довольно быстро начали применяться машины и механизмы, обеспечивающие высокое качество выпускаемых изделий, а также производство сложных штампов, отличающихся большой прочностью и долговечностью.

В мастерских Монетного двора выросли и многие годы трудились опытные мастера и талантливые изобретатели. С 1724 г. там работал известный русский ученый и государственный деятель, крупный специалист в области металлургии, механики и монетного производства И. А. Шлаттер (1708—1768). В 1754 г. он занял пост директора Монетного двора, с 1760 г. — президент Берг-коллегии. В начале XIX в. в цехах Монетного двора уже использовались паровые машины и сложные прессы — для штамповки и чеканки.

Д. К. Чернов пришел на Монетный двор, знакомый ему еще с детства. Он бывал там, навещая отца, который более двадцати лет служил фельдшером заводского лазарета. Среди рабочих было немало тех, кто помнил Чернова-старшего. Они стремились всячески помочь молодому инженеру быстрее и лучше познакомиться с их сложным производством.

Почти полтора года работал Д. К. Чернов на Монетном дворе. Для будущего ученого они не пропали даром. Здесь он практически познал основные процессы литейного и механического производства, научился делать лабораторные анализы металлов и сплавов, приобрел заводской опыт, столь необходимый для дальнейшей научной и педагогической деятельности.

В декабре 1859 г., по просьбе директора Технологического института И. П. Чайковского, Д. К. Чернову было разрешено вернуться в Институт «для занятий по составлению систематического каталога машинам, орудиям и прочим снарядам, хранящимся в техническом музеуме, а также для преподавания черчения», — так было сказано в распоряжении Министерства финансов, в ведении которого находился Монетный двор [1].

Предшествующая, хотя и кратковременная, производственная деятельность Д. К. Чернова породила мысль о необходимости сочетания теоретических наук и практики. Подобно Ломоносову и многим другим отечественным ученым, Чернов предвидел огромную роль, которую будут играть математика и другие фундаментальные науки в развитии промышленного производства. Во время работы в Технологическом институте он в качестве вольнослушателя проходит курс физико-математического факультета Петербургского университета. В течение трех лет Чернов слушает лекции механика и математика П. Л. Чебышева, знакомится с научными трудами М. В. Остроградского, В. Я. Буняковского и других математиков середины XIX в. Перед будущим ученым-металлургом раскрывается не только сущность, но и практическое значение сложных математических формул и вычислений. С сентября 1862 г. Чернов начинает также преподавать

---

[1] Государственный исторический архив Ленинградской области, ф. 429, д. 1551.

и курс геометрии. Однако этим не ограничивается круг его обязанностей. Педагогическую работу он совмещает с должностями хранителя музея и помощника заведующего научно-технической библиотекой института. Много времени отдавал Чернов изучению иностранных языков: он свободно владел французским, немецким и английским языками.

Работая в библиотеке, просматривая и изучая научные книги и журналы, Д. К. Чернов познакомился с новыми для того времени научно-техническими идеями. Особенно глубокий интерес он по-прежнему проявлял к вопросам горного дела и металлургии. Наиболее сильное впечатление произвели на Чернова работы великого русского металлурга первой половины XIX в. П. П. Аносова (1799—1851), публиковавшиеся в «Горном журнале». Д. К. Чернов знакомится также с иностранной периодикой. Он составляет рефераты и обзорные статьи, публикуя их в отечественных изданиях. И опять его внимание прежде всего привлекает металлургия. В середине 1860-х годов в «Журнале мануфактур и торговли» один за другим появляются технические обзоры Чернова: «Исследования о цементации железа», «Усовершенствования в бессемеровском способе изготовления стали и железа», «О наивыгоднейшей степени расширения пара в машинах двойного действия» и др. Металлургия все более увлекает Чернова. Желание самому участвовать в производстве и обработке металлов привело его в мае 1866 г. на Обуховский сталелитейный завод в Петербурге. Здесь начинается многогранная инженерная и научно-исследовательская деятельность русского металлурга, принесшая славу отечественной науке о металлах.

ОТКРЫТИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ЖЕЛЕЗА

П. П. Аносов был первым русским инженером, осуществившим в Златоусте в 40-х годах прошлого столетия серию успешных опытов по производству литых стальных пушек. Его опыты десять лет спустя, в том же Златоусте, продолжил другой известный русский металлург П. М. Обухов (1820—1869). Тигельная сталь, полученная Обуховым, отличалась высокими механическими качествами — прочностью, упругостью и вместе с тем вязкостью. В 1859 г. в Златоусте была построена и введена в действие первая в России оружейная фабрика, где было организовано серийное производство стальных пушек.

Первые результаты боевых испытаний нарезных артиллерийских орудий, изготовленных из тигельной стали, показали их отличную стойкость и надежность. Одна из пушек, выпущенная в 1860 г., выдержала на полигоне 4 тысячи выстрелов. Она демонстрировалась на Всемирной выставке в Лондоне в 1862 г. и была удостоена почетной медали.

Вместе с П. М. Обуховым большое участие в организации производства стальных пушек на Златоустовской фабрике принимали металлурги А. С. Лавров (1838—1904) и Н. В. Калакуцкий (1831—1889), работавшие там в 60-е годы прошлого века. Они тщательно исследовали процессы выплавки и разливки стали, строение стальных слитков и технологию их последующей обработки. Их труды, опубликованные в «Артиллерийском

журнале» в 1866—1867 гг., были изучены Д. К. Черновым и затем широко использованы им в дальнейшем развитии науки о металлах.

В начале 60-х годов XIX в. развивающаяся отечественная промышленность, а также развернувшееся строительство железных дорог требовали все большего количества металлов. Возрастали также потребности в металле армии и флота. «Поражения во время Крымской войны, — писал Ф. Энгельс, — ясно показали необходимость для России быстрого промышленного развития» [2]. В мае 1862 г. русское правительство принимает решение о сооружении вблизи столицы большого сталепушечного завода. На берегу Невы, в 12 верстах от Петербурга, под строительство отводится большой участок земли. Начинается возведение цехов и мастерских, за границей заказываются молоты, станки, машины для испытания металлов. Из Златоуста прибывают квалифицированные мастера — сталевары и кузнецы. Во главе строительства становится автор проекта нового завода П. М. Обухов, поэтому вскоре и создаваемый завод получает наименование Обуховского (ныне завод «Большевик»).

В середине апреля 1864 г. сталелитейный цех Обуховского завода выдал первую плавку весом 294 пуда. Из нее изготовили 7 стальных болванок для орудийных стволов. Этим было положено начало производству небольших пушек. В конце апреля была отлита крупная болванка для ствола тяжелого орудия. Ее вес составлял 752 пуда [3]. Казалось, что были созданы все условия для организации крупносерийного выпуска стальных артиллерийских орудий большого калибра.

Однако долгое время их качество не соответствовало предъявляемым требованиям. Отдельные экземпляры пушечных стволов отличались высокой стойкостью. Они выдерживали сотни и тысячи боевых выстрелов. Но встречались и такие, которые разрывались на испытательных полигонах при первых же залпах. Более того, нередки были случаи, когда орудийные стволы разваливались уже во время их ковки. Анализ работы других заводов — златоустовского и пермского — показал, что и там наблюдается такая же картина. «Главнейшим недостатком сталепушечного производства, — писал в 1867 г. Н. В. Калакуцкий, — в том виде, как оно велось до сих пор, было получение разнокачественных орудий, в числе которых как исключения встречались пушки громадной стойкости, наряду с орудиями, крайне слабыми» [4]. Все это позволяет сделать вывод, что на сталелитейных заводах в то время еще не умели управлять технологией производства ответственных стальных изделий, не могли обеспечить выпуск достаточно однородной по качеству продукции.

Настойчиво искали П. М. Обухов и его помощники причины низкого качества стальных орудий. Много раз в лабораториях исследовался химический состав сталей, из которых отковывались артиллерийские стволы. Анализы неизменно подтверждали однородность и доброкачественность

---

[2] *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 22, с. 447.

[3] *Каптерев Н. А.* Обуховский сталелитейный завод. СПб., 1913, с. 15.

[4] *Калакуцкий Н. В.* Материалы для изучения стальных орудий. — Артиллерийский журн., 1867, № 8.

обуховской стали. Тогда в чем же дело? На этот вопрос долго не удавалось получить вразумительного ответа.

Пока продолжались длительные и бесплодные поиски причин значительного брака стальных орудий, государственная казна терпела большие убытки. В правительственных кругах уже появились сомнения в целесообразности производства пушек из стали. Начались разговоры о том, что пора прекратить затянувшиеся и дорогие эксперименты. На Обуховский завод были приглашены специалисты, которым поручалось подробно разобраться в сложившейся обстановке, глубоко изучить все стадии артиллерийского производства и попытаться найти причины непомерно большого брака орудийных стволов. Среди пришедших на завод инженеров был и Д. К. Чернов, зачисленный техником молотового цеха. Администрация поставила перед ним конкретную задачу — проанализировать технологию ковки стальных слитков и установить ее влияние на механические свойства будущих изделий. Уж не от ковочных ли операций зависит стойкость и долговечность артиллерийских стволов?

Однако Д. К. Чернов более широко и всесторонне подошел к решению проблемы качества. Он занялся систематическим исследованием всего комплекса вопросов, связанных с производством стального орудия. Не считаясь со временем, целые дни, а иногда и ночи проводит молодой инженер в цехах огромного завода, в механической и химической лабораториях. Его часто можно было встретить и на артиллерийском полигоне, где изготовленные пушки подвергались решающей проверке.

Через сильное увеличительное стекло он рассматривал характерную картину структуры металла в местах разрыва орудийных стволов. Очень скоро будущий ученый приходит к выводу, что металл имеет здесь крупнозернистое строение, в то время как пушки, показавшие продолжительный срок службы, отличаются мелкозернистой структурой стали при одинаковом ее химическом составе. Все это наталкивало на мысль, что из одного и того же металла можно получить изделия разного качества. Следовательно, если отдельные орудия получаются прочными, значит, можно и нужно подобрать такие условия их производства, при которых все они будут отвечать поставленным требованиям.

Д. К. Чернов последовательно изучает многочисленные звенья сложного процесса производства стального орудия. Вот первое звено большой цепи — сталелитейный цех. Здесь отливаются тяжелые стальные слитки — заготовки для будущих артиллерийских стволов. Анализ их химического состава показывает, что полученная сталь полностью соответствует своему назначению. Затем слитки поступают в кузницу. Их нагревают в печи и проковывают под мощными молотами. Стальной слиток приобретает при этом вытянутую форму артиллерийского ствола. После остывания он поступает в механический цех, где на металлорежущих станках производится его окончательная обработка.

Особое внимание Д. К. Чернов уделяет ковке металла. В то время это была наименее изученная область металлообработки. Он наблюдает за цветом слитков, нагреваемых в печах. Старые, опытные кузнецы научили его определять температуру металла «на глаз», так как каждой температуре

свойствен определенный цвет стального слитка. При повышении температуры он меняется от темно-красного до ослепительно белого, при котором металл начинает плавиться. Тогда еще не было приборов, позволяющих с большой точностью измерять высокие температуры — термоэлектрический пирометр Ле Шателье был изобретен почти 20 лет спустя, в 1886 г.

Д. К. Чернов подвергал ковке сталь, нагретую до различных температур, т. е. до разного «цвета каления». Откованные и охлажденные образцы он испытывает в механической лаборатории на разрывной машине. Таким образом ему удается установить, при каком температурном режиме ковки можно получить изделие наиболее высоких механических свойств.

Однако молодой инженер не только наблюдает производственные процессы, экспериментирует, ведет длительные беседы с рабочими и мастерами, пытаясь глубже разобраться в сущности каждого этапа технологии производства стального изделия. Не меньше времени он уделяет изучению технической литературы по этой проблеме. Среди многих специальных работ его внимание вновь привлекают статьи златоустовских металлургов Лаврова и Калакуцкого, посвященные вопросам выплавки стали, ее разливки в изложницы, затвердевания и последующей ковки. Отмечая заслуги своих предшественников, Д. К. Чернов делает вывод, что «наша литература должна гордиться трудами Лаврова и Калакуцкого; они первые указали на распределение пустот в литых стальных болванках и зависимость их от обстоятельств плавки и литья — распределение плотностей самой стали в различных местах болванок и неодинаковость ее химического состава; первые подробно познакомили со всеми манипуляциями сталепушечного дела. . .» [5].

Прошло почти два года работы Д. К. Чернова на Обуховском заводе. В апреле и мае 1868 г. он докладывает о своих наблюдениях и выводах на заседаниях Русского технического общества. Его сообщения, названные им «Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету», явились новым словом в науке о металлах. Молодой ученый не только дал глубокий анализ работ своих предшественников, но удивительно четко подчеркнул связь между внутренними превращениями в стали под воздействием высоких температур и ее свойствами и структурой. Он установил зависимость строения стали от тепловой и механической обработки. Этой своей работой Чернов подвел научную базу под изучение свойств и структуры стали в зависимости от тепловых и механических факторов.

Что же представляет собой обработка стали в горячем состоянии? Это либо термическая обработка в виде закалки, отпуска, отжига и пр., связанная только с тепловым фактором и происходящая без участия механических сил внешнего воздействия. Либо это горячая механическая обработка, состоящая в приложении к нагретому металлу, доведенному до пластичного состояния, внешних деформирующих условий. Либо, наконец, это сочетание ковки, т. е. внешних механических воздействий, с последующей тепловой обработкой. Конечная цель всех этих видов го-

[5] Наст. том., стр. 29.

рячей обработки стали состоит прежде всего в улучшениии механических свойств металла путем изменения его структуры.

Преимущества стального изделия с мелкокристаллической структурой в конце 1860-х годов уже ни у кого не вызывали сомнений. Однако подавляющее большинство ученых считало, что только горячая механическая обработка (ковка, прокатка) способна обеспечить стальному изделию нужную структуру. Д. К. Чернов решительно выступил против таких взглядов. «И он не только доказал ложность и неправильность взглядов на значение ковки для качества стали, — писал впоследствии академик А. А. Байков, — но и открыл тот новый правильный путь, по которому должна была пойти обработка стали с целью придания ей, по желанию, требуемых свойств и высоких качеств. Д. К. Чернов указал, что решающим фактором в этом вопросе является не механическая обработка при помощи молота или пресса, а тепловая обработка путем нагрева и охлаждения с различной скоростью, и положил, таким образом, основание термической обработке стали» [6].

В историческом докладе Русскому техническому обществу Д. К. Чернов впервые графически представил открытые им закономерности изменения структуры стали в процессе ее нагревания. На термометрической шкале он отметил несколько особых точек, соответствующих определенным температурам, при которых в структуре стали наблюдались определенные изменения. Одна из этих точек, названная Черновым буквой *a*, соответствовала темно-вишневому цвету нагретой стали, вторая точка (*b*) характеризовалась красным неблестящим цветом каления и, наконец, третья точка (*c*) соответствовала температуре плавления выбранной марки стали.

Найденные Д. К. Черновым точки не являются строго постоянными для всех сортов стали. Их положение на шкале меняется в зависимости от химического состава сплава. Точки *a*, *b* и *c* не имеют постоянного места на шкале, — подчеркивал ученый. Для чистой стали перемещение точек на шкале зависит от процентного содержания в ней углерода. Точки Чернова характеризуют фазовые превращения в структуре стали при определенных температурах ее нагревания или охлаждения. Такие превращения существенно изменяют структуру и свойства металла. Молодой ученый в своем первом докладе четко определил значения этих точек.

Точка *a* позволяет установить правильную температуру закалки металла. Если сталь нагрета ниже точки *a*, она не примет закалки, как бы быстро ее ни охлаждали. Таким образом, критическая точка *a* практически характеризует температуру, при которой сталь начинает закаливаться. Перед закалкой стальное изделие требуется нагреть несколько выше этой точки и быстро охладить. Такое стремительное охлаждение задерживает изменение структуры стали и наделяет ее новыми механическими свойствами.

Операции термической обработки стали, а также все виды горячей механической обработки — ковка, штамповка, прокатка и пр., — свя-

---

[6] *Байков А. А.* Великий русский металлург Д. К. Чернов и его научные труды. — В кн.: *Байков А. А.* Собрание трудов. Т. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948, с. 256.

заны с критической точкой *b*. Сталь, нагретая ниже точки *b*, не изменяет своей структуры при любой скорости охлаждения. Однако, как только температура стали достигает точки *b*, ее структура быстро изменяется. Металл становится мелкозернистым. Таким образом, Д. К. Чернов установил, что для получения мелкозернистой структуры (названной им аморфной), которая обеспечивает стальному изделию наилучшие механические качества, нужно нагреть это изделие до точки *b* или немного выше и затем медленно охладить.

Вернемся к одной из главных операций артиллерийского производства — ковке орудийных стволов. Задача ковки состоит в том, чтобы получить наивозможную мелкозернистую структуру стали (раздробить и вытянуть зерна металла) и одновременно с этим придать стальной заготовке форму, близкую к форме конечного изделия. Практика работы Обуховского завода показала, что из одной и той же стали в результате ковки в одних случаях выходили изделия с мелким зерном, а в других — с крупным. Необходимо было найти такой режим ковки, при котором во всех случаях обеспечивалось бы получение мелкозернистой структуры.

Как известно, горячая обработка металла давлением (ковка, прокатка), с одной стороны, приводит к раздроблению и вытягиванию зерен, а с другой, сопровождается явлениями рекристаллизации металла, т. е. ростом зерен и восстановлением равноосной неориентированной структуры под действием высокой температуры, при которой находится металл во время деформации. Поэтому для того чтобы получить стальное изделие с возможно меньшим зерном, нужно кончать ковку только тогда, когда процесс рекристаллизации практически завершился. Это соответствует критической точке *b*.

Д. К. Чернов очень четко определяет нижний температурный предел ковки, он говорит: «Нужно стремиться достигнуть того, чтобы наши орудия были по возможности мелкозернистого сложения; для этого следует, как мы видели, после нагрева болванки до высокой температуры ковать ее до тех пор, пока она не остынет до температуры, обозначенной мною точкой *b*; тогда вместе с изменением куска в данную форму мы не дадим ему кристаллизоваться и по возможности приблизим структуру его к аморфной массе» [7].

Д. К. Чернов впервые по-новому поставил вопрос о ковке стальных изделий. Так ли необходим этот сложный и трудоемкий процесс, требующий дорогого оборудования — нагревательных печей, молотов или прессов? Внимательно изучая структуру литой и кованой стали, ученый пришел к выводу, что правильно подобранный режим тепловой обработки может обеспечить и литому стальному изделию наилучшую структуру, т. е. мелкозернистое строение. В этом случае ковка была бы не нужна. Но в реальных условиях, как это показали в своих работах еще Лавров и Калакуцкий, литые стальные болванки переполнены газовыми пустотами, пузырями и раковинами. Задача ковки — сжать, сдавить, по воз-

---

[7] Наст. том, стр. 43.

можности сварить эти пустоты. Этим прежде всего и объясняется необходимость обрабатывать металл под молотами или прессами.

В наше время разработаны новые металлургические процессы, позволяющие хорошо раскислить сталь, вести процесс в вакууме и т. д. Это резко сокращает число и размеры газовых пустот в литом металле, а непрерывная разливка жидкой стали позволяет получить литую болванку без усадочных раковин. В то же время прогресс в области термообработки обеспечивает возможность получения практически любой структуры металла.

Практическое значение критических точек, установленных Д. К. Черновым, исключительно велико. Точка *a* дала возможность правильно находить температуру закалки. Точка *b* внесла понятие об изменении структуры стали при нагревании. Она послужила для кузнецов и термистов надежным средством, позволяющим получать продукцию высокого качества.

Открытие критических точек, обозначающих температуры, при которых в стали происходят фазовые превращения, является одной из выдающихся работ Д. К. Чернова. И впоследствии ученый не раз возвращался к вопросу о критических точках, внося новые и новые элементы в стройную систему своих взглядов. В сообщении Русскому техническому обществу «О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов» (10 мая 1885 г.), в лекции «О влиянии механической и термической обработки на свойства стали», состоявшейся в Институте инженеров путей сообщения 27 января 1886 г., в курсе основ сталелитейного дела, прочитанном Черновым в Михайловской артиллерийской академии в 1898 г., и, наконец, в письме редактору «Журнала Русского металлургического общества» М. А. Павлову, написанном в ноябре 1916 г., идеи фазовых превращений в стали, высказанные впервые в 1868 г., получают свое дальнейшее развитие.

В работе «О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов» Д. К. Чернов подробно исследует важнейшие факторы закалки стали. По Чернову, пишет профессор А. Ф. Головин, «процесс закалки определяется следующими существенными ее элементами:

1) «пределом температуры нагрева», т. е. той наименьшей температурой, до которой должна быть нагрета сталь при закалке, а также «пределом температуры охлаждения», т. е. той наибольшей температурой, до которой сталь должна быть быстро охлаждена для получения закалки;

2) «пределом скорости охлаждения», т. е. тем наименьшим значением скорости охлаждения, при котором сталь еще способна получать закалку;

3) «величиной и направлением изменений объема стали при закалке», в связи с развитием внутренних напряжений в закаленной стали» [8].

В рассматриваемой работе Д. К. Чернов снова останавливается на значении точки *a*, соответствующей температуре, обеспечивающей получение

---

[8] *Головин А. Ф.* Значение трудов Д. К. Чернова в развитии отечественной артиллерийской техники. — В кн.: Труды по истории техники. Вып. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1953, с. 53.

закалки при быстром охлаждении, и уточняет нижний предел температуры, при которой завершается процесс закалки. Эту температурную границу он обозначает буквой *d*, считая ее для эвтектоидной стали примерно равной 200 °С. Таким образом, чтобы обеспечить полную закалку стали, ее нужно нагреть до температуры, соответствующей точке *a*, и затем быстро охладить до точки *d*, т. е. до 200 °С.

Температура, обозначенная Черновым точкой *d*, известна теперь как начало мартенситного превращения стали при закалке. Для углеродистых сталей она не является постоянной, понижаясь при увеличении концентрации углерода. Однако многочисленные эксперименты, проделанные с помощью современных точных приборов, подвердили, что температура превращения аустенита в мартенсит для стали, содержащей 0,8% углерода (образцами такой стали и пользовался Д. К. Чернов), соответствует 200 °С.

Изучая процессы закалки, Д. К. Чернов большое внимание уделяет количественным показателям скорости охлаждения. «Мы привыкли говорить, — утверждает он, — что закалка получается при быстром охлаждении; но чтобы разумно руководствоваться этим правилом, необходимо знать возможно точнее эту быстроту, знать, по крайней мере, наибольший предел для того промежутка времени, в течение которого должно непременно совершиться требуемое охлаждение, чтобы получилась закалка» [9]. Эксперименты, проведенные Черновым, показали, что для получения полной закалки эвтектоидной стали время ее охлаждения от температурной точки *a* до 200 °С не должно быть более 4—5 сек. Если время охлаждения превысит 8 сек., никакой закалки не получится.

Разрабатывая процесс термической обработки стальных бронебойных снарядов, Д. К. Чернов стремился обеспечить получение твердого, хорошо закаленного наружного слоя изделия и относительно мягкой внутренней его массы. Наряду с закалкой в холодной воде, он использует в качестве закалочной среды масло, нагретое до температуры, близкой к 200 °С, или легкоплавкий металл — сплав олова со свинцом, находящийся в жидком состоянии уже при 184 °С. Нагретый под закалку снаряд ученый многократно на короткое время погружал в холодную воду для образования твердой корки, затем 20 мин. охлаждал в горячей среде при температуре 185 °С и после этого сутки выдерживал в золе. Обработанный таким образом снаряд выдерживал удары даже 50-тонного молота. Предложенный Черновым ступенчатый метод закалки стали обеспечил высокое качество изделий, стабильность их размеров и почти полное уничтожение нередко возникающих в закаленном металле внутренних напряжений.

Анализируя работу Д. К. Чернова «О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов», А. Ф. Головин пишет: «Среди многих теоретических положений и практических выводов, которыми столь богата рассматриваемая работа, необходимо отметить идею поверхностного упрочения (поверхностной закалки) стальных изделий посредством применения специальных методов охлаждения; предложение о применении струйной закалки; обоснование целесообразности применения закалки с само-

---

[9] Наст. том, стр. 86.

отпуском с целью резкого уменьшения внутренних напряжений; экспериментальное определение критической скорости закалки посредством оригинальной и простой методики; постановку опыта, предвосхитившего идею определения прокаливаемости методом торцевой закалки» [10].

Следует сказать, что новые идеи, выдвинутые Д. К. Черновым в его сообщениях Русскому техническому обществу в 1868 г., и практические выводы о доминирующем значении термической обработки стали для получения доброкачественных изделий по сравнению с ее ковкой далеко не сразу получили всеобщее признание. Видный специалист в области артиллерийского производства академик А. В. Гадолин, выступая при обсуждении доклада Чернова, отметил, что «произведенные г. Черновым опыты над изменением структуры стали еще малочисленны и недостаточно разнообразны для того, чтобы вывести из них окончательное заключение для практики. Это может быть только тогда, когда другие и в разных местах и при других обстоятельствах повторят их с одинаковым успехом, и, без сомнения, такие опыты послужили бы к разъяснению многих еще весьма темных вопросов в технике стали» [11].

После обсуждения доклада Д. К. Чернова Русское техническое общество создало комиссию, которой было поручено с участием Чернова осуществить серию экспериментов по обработке стальных болванок разными способами. Возглавлял комиссию А. В. Гадолин. Исследования продолжались около двух лет. Для испытания использовалась углеродистая сталь, содержащая 0,45% углерода. Их основные результаты приведены в следующей таблице:

Способ обработки	Предел упругости, *кГ/см²*	Сопротивление разрыву, *кГ/см²*	Удлинение при разрыве, %
Литая сталь без какой-либо обработки	1325 (100%)	4637 (100%)	9 (100%)
Сталь, прокованная при высокой температуре и затем медленно охлажденная	1925 (145%)	5611 (120%)	11 (122%)
Сталь, только нагретая до температуры несколько выше точки *b* Чернова и охлажденная в воде до красно-бурого каления, а затем в золе	2825 (215%)	6214 (135%)	13 (145%)

Полученные данные с большей убедительностью показали правильность выводов, сделанных Д. К. Черновым. В результате ковки и последующего медленного охлаждения механические свойства стали несколько повысились по сравнению с литой сталью того же химического состава. Однако это повышение было более значительным в тех случаях, когда литая сталь подвергалась только тепловой обработке, без всякого механичес-

[10] *Головин А. Ф.* О жизни и деятельности Дмитрия Константиновича Чернова. — Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 91.

[11] Наст. том, стр. 59.

кого воздействия. В этом случае предел упругости увеличился более чем в два раза, сопротивление разрыву возросло на 35%, а относительное удлинение — на 45%[12].

В 80—90-х годах прошлого столетия видные зарубежные ученые Ф. Осмонд, У. Робертс-Аустен, А. Ледебур и др., пользуясь точными приборами для измерения высоких температур, полностью подтвердили замечательные открытия Д. К. Чернова. В начале 20-х годов нашего века полиморфные превращения в стали под действием нагревания и охлаждения получили экспериментальное подтверждение также и рентгенографическими методами исследования металлов. Идеи Д. К. Чернова успешно развивались и развиваются его учениками и последователями, видными советскими учеными А. А. Байковым, Н. Т. Гудцовым, С. С. Штейнбергом, А. А. Бочваром, Г. В. Курдюмовым, В. Д. Садовским и др.

РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Прошло десять лет со времени знаменитого доклада о фазовых превращениях в стали. 2 декабря 1878 г. Д. К. Чернов снова поднимается на трибуну Русского технического общества. Его новая работа, названная «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок», посвящена процессу затвердевания жидкой стали и изучению строения стального слитка.

В конце 1870-х годов уже широко применялись мартеновский и бессемеровский процессы переработки чугуна в сталь. Оба этих способа позволяли относительно легко получать большие слитки литой стали. Однако, несмотря на наличие классических работ русских металлургов Аносова, Лаврова, Калакуцкого и их иностранных коллег, в процессах разливки и остывания жидкого металла оставалось еще много неясных сторон, требующих детального изучения. Сейчас для каждого металлурга совершенно ясно, что разливка стали и остывание слитка — это не простая механическая операция, а сложный процесс, который необходимо сознательно направлять и регулировать. Переход стали из жидкого состояния в твердое в большой степени определяет качество будущего изделия, изготовленного в дальнейшем из этой стали. Порочно застывший металл иногда не удается исправить последующей обработкой.

«Многочисленные разносторонние исследования Д. К. Чернова, — пишет академик А. М. Самарин, — связанные с выплавкой и разливкой стали, имели исключительное значение для совершенствования методов производства стали и повышения ее качества. Эти исследования оставили неизгладимый след в истории развития научных основ металлургии. Их результаты и поныне определяют основные направления исследований при решении сложных проблем, возникающих при получении высококачественной стали»[13].

---

[12] Занятия комиссии, назначенной для рассмотрения способа обработки стали, предложенного г. Черновым. — Зап. имп. Русск. технич. об-ва, 1870, вып. 2, с. 44—76.

[13] *Самарин А. М.* Работы Д. К. Чернова в области выплавки и разливки стали. — Труды по истории техники. Вып. 2, М.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 20.

В сообщении Русскому техническому обществу и в ряде последующих работ Д. К. Чернов подробно останавливается на пороках стальных слитков, уделяя наибольшее внимание причинам и механизму возникновения газовых пузырей и усадочной рыхлости. Одновременно он предлагает практические мероприятия для устранения этих недостатков. Важнейшим из них является наиболее полное раскисление металла перед разливкой его в изложницы. В 70-е годы XIX в. было известно два раскислителя жидкой стали — кремний и марганец. Именно они обеспечивают восстановление растворенной в сплаве закиси железа, предотвращают возникновение газообразной окиси углерода, приводящей к образованию пузырей в слитке стали. Наиболее энергичным раскислителем является кремний. Однако кремний окисляется (выгорает) в самом начале сталеплавильного процесса и уходит в шлак. Применявшийся обычно для раскисления жидкой стали ферромарганец (зеркальный чугун) не мог обеспечить полного восстановления закиси железа.

Д. К. Чернов подчеркивает необходимость использования в качестве раскислителя комплексного сплава, состоящего из железа, марганца и кремния. Этот сплав дает возможность вводить в окончательный продукт бессемеровского или мартеновского процесса столько кремния, сколько необходимо для полного разложения растворенной в стали окиси углерода и образования двойного силиката железной и марганцевой закиси. Этот двойной силикат отличается легкоплавкостью и жидкотекучестью. Он сравнительно быстро всплывает на поверхность, очищая расплавленный металл от раздробленных шлаков, снижающих механические качества получаемой стали [14].

В 1891 г. А. С. Лавровым был введен еще более энергичный раскислитель стали, чем кремний и марганец, — металлический алюминий. В дальнейшем алюминий стал использоваться и в составе комплексных раскислителей. В наши дни комплексные раскислители, на целесообразность которых Чернов указывал еще в 1878 г., не потеряли своего значения, обеспечивая получение плотного, беспузыристого стального слитка.

Классическая работа Д. К. Чернова о структуре литой стали в значительной части посвящена анализу процесса кристаллизации металла в ходе его затвердевания и изучению строения стального слитка. Оценивая вклад Чернова в исследование процессов кристаллизации, А. М. Самарин пишет: «Д. К. Чернов является общепризнанным творцом учения о кристаллическом строении литой стали. Ему принадлежит анализ механизма образования кристаллов-дендритов, анализ кинетики процесса кристаллизации. Такие, впервые введенные Д. К. Черновым, понятия, как центры кристаллизации, кристаллические твердые растворы, волновой характер роста кристаллов, составляют основу современного учения о кристаллизации стали» [15].

Д. К. Чернов долго и тщательно изучал кристаллизацию различных веществ. Он выращивал большие кристаллы поваренной соли и различ-

---

[14] Наст. том, стр. 230.

[15] *Самарин А. М.* Работы Д. К. Чернова в области выплавки и разливки стали, с. 23.



Знаменитый кристалл Чернова

ных квасцов, наблюдал за процессом кристаллизации воды при замерзании, за возникновением и распространением сложных узоров льда. Сохранились фотоснимки оконных узоров льда, один из которых, как указывает надпись, был сделан Черновым зимой 1915 г., т. е. когда ему шел 76-й год. По аналогии с кристаллизацией раствора квасцов при замерзании Чернов создает схему затвердевания жидкой стали, а затем подтверждает ее правильность результатами многочисленных наблюдений и опытов в заводской обстановке.

В названном труде Д. К. Чернов воспроизводит картину затвердевания расплавленной стали. Он рассматривает прежде всего кристаллы, образующиеся на стенках усадочных пустот, и устанавливает связь между ними и кристаллами тела слитка. Специфической особенностью образования кристаллов усадочной раковины является полная свобода их индивидуального роста, тогда как кристаллы общей массы слитка — дендриты — развиваются в условиях непрерывного взаимодействия между собой. Исследуя стенки усадочных пустот в слитке, Чернов отмечает, что они усеяны мелкими кристаллическими ростками, образующими друзы нагроможденных друг на друга стальных кристаллов. При рассмотрении под микроскопом отдельных кристаллов было установлено, что они принадлежат к разрывным кристаллам, с наибольшим развитием ростков по направлению октаэдрических осей. Эти ростки, названные Черновым ростками первого порядка, по мере удаления от вершины кристалла к его основанию все чаще сопровождаются сначала в зачатках, а потом во все более развитом виде ростками второго, третьего и т. д. порядков, образующими иногда буквально сетчатые стропила октаэдрического кристалла [16].

В практике имеют место случаи, когда в усадочной пустоте начинает расти отдельный, обособленный кристалл. Рост такого кристалла не встречает препятствий со стороны других кристаллов, его форма не искажается. Чем больше масса стального слитка и чем медленнее его застывание, тем больше возможность для роста обособленных кристаллов. Д. К. Чернов собирал и изучал такие кристаллы. В его коллекции хранился огромный кристалл, найденный в усадочной пустоте 100-тонного стального слитка.

[16] Наст. том, стр. 217—218.

Вес кристалла равнялся 3,45 *кг*, а длина составляла 39 *см*. Фотография этого замечательного кристалла, названного кристаллом Чернова, так же как и его классические схемы, поясняющие процесс кристаллизации, вошли во все руководства по металлографии и пользуются всемирной известностью.

Д. К. Чернов показал механизм затвердевания стального слитка. Затвердевание начинается прежде всего в зоне соприкосновения жидкой стали с холодными стенками изложницы. Расплавленная масса покрывается твердой стальной коркой. Эта корка защищает жидкую сталь от быстрого остывания, процесс затвердевания замедляется и кристаллы получают возможность эффективного роста. Чернов отмечает, что «затвердевание стали в центральных слоях совершается под влиянием весьма медленного отнятия теплоты сквозь раскаленные, только что отвердевшие наружные слои болванки, причем может образоваться весьма большое число центров кристаллизации с произвольным направлением осей роста кристаллов» [17].

Далее ученый анализирует причину меньшей плотности металла в центральных слоях слитка. Он указывает на отсутствие строгой правильности в росте кристаллов. Ростки второго порядка развиваются иногда быстрее ростков первого порядка, отнимают от них жидкий материал, пускают от себя ростки третьего порядка и т. д. Растущие кристаллы встречаются друг с другом, срастаются и замыкают между собой отдельные небольшие пространства, заполненные жидкой сталью, которая продолжает служить материалом для дальнейшего роста замыкающих его кристаллических ростков. Однако вследствие охлаждения при этом происходит сжатие металла; в результате в каждом замкнутом пространстве остается усадочная пустота, которую Чернов называет местной, или частной, усадкой. В затвердевающем слитке ощущается недостаток материала для правильного развития и роста кристаллов, металл становится гуще и теряет быструю подвижность, что и имеет место при затвердевании центральных частей болванки. «Вот причина, — указывает ученый, — почему по мере приближения к центру болванки мы встречаемся с более и более рыхлым металлом» [18].

Д. К. Чернов дал подробный анализ основных недостатков и пороков стального слитка — газовых пузырей, усадочной раковины, ликвационной зоны и пр Однако он не ограничился только констатацией наблюдаемых им явлений, а разработал целый ряд способов борьбы с недостатками литой стали. В своей работе «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок» ученый предлагает три вида предотвращения пороков стального слитка.

Во-первых, он рекомендует, не изменяя способов отливки стали, ограничиться изготовлением болванки самой простой формы. Изделие из нее вырабатывается далее с помощью молотов или прокатных станов.

Во-вторых, сталь подвергается в жидком виде сильному давлению. При этом получают беспузыристые, а частью и безусадочные болванки

---

[17] Наст. том, стр. 219.
[18] Наст. том, стр. 220.

самых простых форм, для дальнейшей обработки которых употребляются молоты или прокатные станы.

Наконец, в третьем случае выделение газов в отливаемой стали прекращается химическим путем. Стальные изделия самых разнообразных очертаний получают прямо отливкой в земляные или металлические формы, без дальнейшей обработки под молотом.

Д. К. Чернов подробно останавливается на характерных особенностях каждого из этих способов. Для лучшего уплотнения стали, наряду с применявшимся тогда способом прессования жидкого металла, он разрабатывает метод отливки во вращающуюся изложницу. «В самом деле, — говорит Д. К. Чернов, — если при отливке стали в изложницу эту последнюю приводить в быстрое вращательное движение, тогда растущие нормально к поверхности изложницы разрывные кристаллы не в состоянии будут так сильно развиваться, как это имеет место при спокойном росте, и сталь будет нарастать гладкими, аморфного сложения слоями» [19].

К периоду пребывания Д. К. Чернова на Обуховском заводе относится также его работа по исследованию и внедрению бессемеровского способа получения стали. Для русской, да и для зарубежной металлургии этот процесс был тогда сравнительно новым и содержал много неясных сторон. Естественно, что в этих условиях обстоятельные сообщения Чернова («Материалы для изучения бессемерования»), сделанные в Русском техническом обществе в феврале 1876 г. и продолженные там же год спустя, послужили стимулом к более широкому внедрению бессемеровского способа производства стали на русских заводах.

Д. К. Чернов, широко используя данные зарубежной и отечественной практики, в том числе и своих личных экспериментов на конверторах Обуховского завода, познакомил присутствующих с устройством конверторов и сущностью бессемеровского процесса. Он разделил последний на четыре периода, подробно охарактеризовав наступление и окончание каждого из них. Основная трудность конверторного производства стали состояла в определении момента окончания процесса, протекающего с большой скоростью. Даже с помощью самых быстрых для того времени химических способов анализа металла невозможно было уследить за процессом выгорения кремния, марганца, углерода и других элементов, составляющих сталь.

Для определения момента окончания продувки металла воздухом существовал только один способ — спектральный анализ пламени, вырывающегося из горловины конвертора. Рассказав об опытах использования спектроскопа за рубежом, Чернов остановился на своих спектроскопических наблюдениях бессемеровского пламени, а их ученый сделал более пятисот. Это место доклада ученый проиллюстрировал таблицами спектров, характерных для каждого периода плавки.

Работы русского металлурга позволили в значительной степени усовершенствовать конверторный процесс, расширить область его применения. До Чернова при бессемеровском процессе использовали только

---

[19] Наст. том, стр. 231—232.

высококремнистые чугуны. Чугун с содержанием относительно небольшого количества кремния считался непригодным для бессемерования: ведь высокая температура процесса создавалась главным образом за счет выгорания кремния. Д. К. Чернов на Обуховском заводе (и почти одновременно с ним К. П. Поленов на Нижнесалдинском заводе) предложил еще в 1872 г. предварительно подогревать жидкий чугун в вагранке перед его заливкой в конвертор, сообщая ему большой запас тепла. Этот способ, получивший название русского бессемерования, в дальнейшем широко применялся на отечественных и зарубежных заводах.

Всесторонне изучив теорию и практику конверторного процесса, Д. К. Чернов горячо поддержал специалистов, доказывавших целесообразность использования кислорода для интенсификации процесса выплавки стали в конверторе. В докладе Русскому техническому обществу в 1876 г. Чернов подчеркивал исключительную эффективность применения обогащенного кислородом воздуха для продувки жидкого чугуна в конверторе. «Это должно значительно возвысить температуру металла, а с другой стороны, — сократить время процесса и уменьшить расход на движущую силу, так как воздуходувная машина может быть тогда уменьшена пропорционально количеству примешиваемого кислорода» [20].

Однако в те далекие времена кислород стоил дорого, добывался он в химических аппаратах весьма небольшой производительности. К тому же и работа металлургических агрегатов на дутье с повышенным содержанием кислорода совсем не была изучена. Понадобился не один десяток лет напряженных исследований, чтобы вопрос о широком использовании кислорода в металлургии поставить на практические рельсы. В наши дни на кислородном дутье с большим успехом работают доменные и сталеплавильные печи разных конструкций. А что касается конверторов, то применение кислорода буквально можно считать их «вторым рождением». Почти забытые в первой четверти нашего века, они вновь стали ведущими агрегатами сталеплавильного производства, обеспечивая получение высококачественного и дешевого металла.

ЧЕЛОВЕК РАЗНОСТОРОННИХ ДАРОВАНИЙ, ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ И ПАТРИОТ

В феврале 1880 г. Д. К. Чернов вынужден был покинуть Обуховский завод, которому он отдал почти 14 лет своей жизни. Здесь он прошел трудный путь от скромной должности техника молотового цеха до главного металлурга завода, обогатил науку о металлах выдающимися открытиями. В опубликованных работах Чернова имеется только одно указание на причину его ухода с завода. 10 марта 1884 г. в докладе Русскому техническому обществу, посвященном обобщению новых наблюдений при обработке стали, ученый с горечью говорил: «. . . даже первый образец, приготовленный мною, не подвергся наблюдению, потому что среди моих приготовлений я должен был уступить грубой силе обстоятельств

---

[20] Наст. том, стр. 190.

и покинуть не только мои занятия на Обуховском заводе, но и вообще стальное дело» [21].

В Центральном государственном историческом архиве СССР в Ленинграде хранятся интересные документы, проливающие свет на истинные причины ухода Д. К. Чернова с Обуховского завода. Сохранилась переписка Чернова по этому поводу с механиком завода Гагенторном и начальником завода А. А. Колокольцовым. Из этой переписки следует, что Гагенторн в присутствии группы работников завода высмеял требование Чернова о более широком привлечении русских рабочих, в то время как руководство завода делало ставку прежде всего на иностранцев.

Д. К. Чернов писал Колокольцову: «Относительно односторонности моего мнения о найме иностранцев-рабочих г. Гагенторн может быть прав только с точки зрения очень узких интересов его мастерской; конечно, для мастера лучше взять слесаря-иностранца, умеющего, например, хорошо сделать шаблон, нежели трудиться учить русского рабочего, всегда будто бы небрежного. Но я не могу смотреть такими глазами уже потому, что должен действовать в духе правительства, которое поддерживает нашу промышленность и субсидиями, и таможенными пошлинами, и заказами, и издержками на высшее и низшее техническое образование только для того, чтобы нам быть независимыми от иностранцев, насадить производство на *русской* почве, *русскими* людьми (подчеркнуто Д. К. Черновым. — *А. Ф.*), и даже несет особые жертвы, чтобы и сырые материалы были русские. Мои симпатии всегда были на этой стороне. . . и потому я буду всегда действовать в этом смысле». Далее ученый требовал увольнения ряда принятых на завод иностранцев. Начальник завода оставил просьбу Чернова без внимания. В последующих письмах Д. К. Чернов потребовал своей отставки [22].

Мы остановились столь подробно на причинах ухода Чернова с Обуховского завода для того, чтобы подчеркнуть глубокий патриотизм ученого, его заботу о процветании Родины, о строительстве русской промышленности русскими людьми. Патриотом он оставался до конца своей жизни.

Вынужденный уход Д. К. Чернова с Обуховского завода был столь для него неожиданным, что вопрос о месте новой работы еще не был решен. Ученого тянуло на юг, где в это время зарождалась новая производственная база страны, широко разведывались природные запасы сырья, уже создавались крупные промышленные предприятия. Именно в этот период Д. И. Менделеев указывал на «будущую силу, покоящуюся на берегах Донца». Но перед тем как отправиться в южные районы, Чернов решил осуществить свою давнишнюю мечту: ближе познакомиться с основным в то время горнозаводским центром России — Уралом.

Полгода спустя, в ноябре 1880 г., отчитываясь на заседании Русского технического общества о своем путешествии по Уралу, Д. К. Чернов говорил: «Я несколько раз бывал на лучших железных и стальных заводах

---

[21] Наст. том, стр. 61.

[22] Полностью указанная переписка приведена в публикации А. С. Федорова «Новые материалы о Д. К. Чернове». — В сб. Вопросы истории естествознания и техники, 1960, вып. 12, с. 193—195.

Западной Европы . . . Но мне ни разу не удавалось побывать на Урале и взглянуть на наши железные рудники и заводы. . . . Поэтому, когда нынешней весной, к крайнему моему сожалению и при этом совершенно для меня неожиданно, я принужден был покинуть мои 14-летние занятия на Обуховском заводе, мне тотчас же вспомнилось давнишнее мое желание, и я решил съездить на Урал, воспользовавшись двумя летними месяцами»[23].

Почетный член Русского технического общества профессор А. А. Иосса и другие ученые снабдили Д. К Чернова подробными картами уральских горных заводов и рудников, а также рекомендательными письмами к управляющим предприятиями. Ученый направился по Уральской горнозаводской железной дороге, и далее — на юг от Екатеринбурга до Катавского завода. Кроме рудников и угледобывающих предприятий, Д. К. Чернов осмотрел около 20 казенных и частных заводов, среди них знаменитый Златоустовский, Мотовилихинский (Пермь), Кушвинский, Нижнетагильский, Верх-Исетский, Каслинский, Юрюзанский и др.

Доклад Техническому обществу о своей поездке Д. К. Чернов начал с описания рудников, затем перешел к производству топлива, огнеупорных материалов и, наконец, к технологии получения чугуна, стали и процессам их переработки в рельсы, сортовой материал и другую продукцию. Сообщение ученого представляло собой не только техническое описание горнозаводских предприятий, но содержало глубокий анализ экономики уральской металлургии в целом и отдельных заводов.

Он побывал на железорудных месторождениях Урала — Бакальском, Высокогорском и рудниках горы Благодать, а также в других районах. Ученый отметил высокое качество большинства уральских руд, особенно тех, которые содержат магнитный железняк. Однако его возмутила хищническая эксплуатация природных богатств на ряде рудников, большое количество железа, идущее в отвалы, примитивные методы предварительной подготовки руд путем их обжига в кучах или полуямах. Чернов рассказывает об опыте шведских металлургов, которые давно уже обжигают руды в специальных печах на самих металлургических заводах, используя для этого отходящие газы доменных печей.

В начале 80-х годов прошлого века уральская черная металлургия использовала в качестве топлива почти исключительно древесный уголь, который выжигался в примитивных кучах с большими потерями. Специальные углеобжигательные печи использовались крайне редко. Д. К. Чернов докладывал Техническому обществу о первых попытках применения каменного угля на отдельных уральских заводах (Верх-Исетском и др.) для выплавки металла. Он горячо поддержал опыты по использованию торфа на Кулебакском заводе (Горьковская обл.), усматривая в этом многообещающие перспективы.

Особенно огорчило Д. К. Чернова широкое использование даже на лучших уральских заводах уже отжившего свой век тигельного процесса.

---

[23] *Чернов Д. К.* Взгляд на положение железных заводов па Урале. — Зап. имп. Русск. техн. об-ва, 1881, вып. 1, с. 43.

Высокопроизводительные способы переработки чугуна — мартеновский и бессемеровский — еще не получили в то время распространения на Урале. С грустью проходил ученый по цехам и мастерским прославленного Златоустовского завода, где некогда работал замечательный металлург Аносов, где отливал свои пушки Обухов, где ставили выдающиеся опыты Лавров и Калакуцкий, развивая основы науки о металле. За последние двадцать лет здесь ничего не изменилось, остались те же тигли и пудлинговые печи, а жизнь уже далеко ушла вперед, требуя новых технических решений.

Однако общий вывод Д. К. Чернова о перспективах уральской металлургии был оптимистичным. Он верил в безграничные возможности этого богатейшего края. Доклад Техническому обществу, произнесенный столетие назад, он завершил призывом развивать производство металла на Урале, подготовить для этого необходимые инженерно-технические кадры, широко использовать новую технологию (мартеновский и бессемеровский процессы) и достигнуть на этой основе высокого уровня производства стали. «Имея железа в изобилии, — говорил ученый, — мы можем и пахать глубоко, и солому снять с крыш, и лыком перестать вязать. Если железо есть орудие цивилизации, то дайте народу железо, — призывал Д. К. Чернов, — культура его поднимется, а вместе с ней выиграет и железное производство страны» [24]. Летом 1887 г., работая главным заводским инспектором Министерства путей сообщения, Д. К. Чернов вновь посетил уральские железоделательные заводы, где знакомился с производством железнодорожных рельсов, а также участвовал в Екатеринбургской промышленной выставке. Год спустя он изучал производство рельсов на южных металлургических заводах, высказав много полезных замечаний и предложений по улучшению этой важной отрасли металлургической промышленности. Отчеты об этих поездках представляют большой интерес для историков отечественной техники. Ученый указывает на низкий технический уровень тогдашней русской металлургической промышленности, подчеркивает исключительные возможности для ее развития, учитывая огромные ресурсы каменного угля и железных руд.

Осенью 1880 г. Д. К. Чернов уезжает на Украину. В течение трех лет он занимается разведкой каменной соли в Бахмутском уезде Екатеринославской губернии (ныне Артемовский р-н Донецкой обл.). Эта работа увенчалась успехом: найденные Черновым залежи соли начали разрабатываться в промышленных целях.

В 1884 г. по возвращении в Петербург Д. К. Чернов работает главным инспектором отдела испытания и освидетельствования заказов Министерства путей сообщения. Одновременно, по приглашению администрации Обуховского завода, он осуществляет экспериментальные исследования с целью разработки технологического режима приготовления крупнокалиберных артиллерийских снарядов. Об этой работе Чернова, завершенной в 1885 г., было рассказано выше.

Д. К. Чернов являлся автором и ряда других исследований в области артиллерийского и оружейного производства. При его непосредственном

---

[24] Там же, с. 65.

участии происходило перевооружение русской армии трехлинейными винтовками, конструкции известного русского изобретателя С. И. Мосина, которые десятки лет находились на вооружении нашей армии. Он разработал оригинальные методы термической обработки не только снарядов, но и брони для военно-морского флота. Выдающийся металлург исследовал весьма важную проблему выгорания каналов артиллерийских орудий при стрельбе в результате разрушительного действия пороховых газов высокой температуры. Итоги этой работы были доложены ее автором в Русском металлургическом обществе в мае 1912 г. и опубликованы в журнале этого общества [25].

Д. К. Чернов считал возможным промышленное получение стали непосредственно из железных руд, минуя доменной процесс. В докладе, прочитанном на заседании Русского технического общества 20 января 1899 г., ученый не только теоретически обосновал новый процесс, но и сообщил о разработанном им оригинальном проекте плавильной печи, позволяющей выплавлять сталь из железной руды. В то время проект не встретил поддержки. В последующие десятилетия многие отечественные и зарубежные ученые продолжали работу над проблемой прямого получения стали из руды. Сейчас гениальное предвидение русского металлурга близится к практическому осуществлению. В наши дни уже успешно работают опытные установки, обеспечивающие получение металла методом прямого восстановления железа, минуя доменный и коксохимический процессы. В богатейшем рудном районе страны — Курской магнитной аномалии — создается специальный комбинат для получения высокосортных сталей непосредственно из железных руд.

Деятельность Д. К. Чернова была многогранной. Он отличался разносторонностью своих дарований. Наряду с большой работой, проводившейся им в области металловедения и металлургии, ученый живо интересовался геологией и ботаникой, математикой и авиацией, фотографией и музыкой. Он задумывался над такими проблемами, которые полностью были решены лишь много лет спустя. К их числу относится возможность полета человека на аппаратах тяжелее воздуха.

Д. К. Чернов наблюдал и изучал полет птиц, присматривался к устройству и работе их крыльев и пришел к выводу, что человек может летать, опираясь на крылья. Он разрабатывал проект летательного аппарата, основной частью которого был воздушный винт — пропеллер, приводимый в действие специально установленным двигателем. Ученый-металлург собственноручно осуществил оригинальную модель, состоящую из пружинного механизма и вращающегося винта. С помощью этой модели, поставленной на чашку весов, он показал, что подъемная сила винта зависит от скорости его вращения и от угла наклона лопастей.

Эти работы не были случайными или поверхностными экспериментами. Д. К. Чернов сделал из них серьезные и обобщающие выводы, с которыми подробно ознакомил научную общественность. На заседаниях Русского технического общества 17 и 23 декабря 1893 г. ученый-металлург под-

[25] См.: Журн. Русск. металлург. о-ва, 1912, № 5, с. 705—715.

робно докладывает о возможности механического летания без помощи баллона. Развитие авиации показало, что и в этом вопросе он стоял на верном пути [26]. Прославленный ученый-аэродинамик, «отец русской авиации» Н. Е. Жуковский высоко оценил эти работы Д. К. Чернова. В лекциях по аэродинамике и теории авиации Жуковский неоднократно подробно освещал эксперименты русского металлурга, касающиеся воздушного винта. В марте 1894 г. Жуковский выступил в Московском воздухоплавательном обществе с сообщением о работах Чернова в области авиации.

Терпеливо и настойчиво изучал Д. К. Чернов характерные особенности старинных скрипок работы знаменитых итальянских мастеров. Он исследовал различные способы сушки и склейки дерева, форму изгиба скрипичных дек, различный состав лаков и покрытия скрипки. Он изготовлял музыкальные инструменты, и удавались они настолько хорошо, что даже специалисты зачастую затруднялись отличить старинные итальянские скрипки от скрипок, изготовленных русским ученым-металлургом. В воспоминаниях младшей дочери Д. К. Чернова — А. Д. Адеркас-Черновой [27] — мы читаем, что ее отец собственноручно изготовил 12 скрипок, 4 альта и 4 виолончели. Сохранилась афиша Музыкального собрания Общества друзей музыки, которое состоялось в Малом зале Петербургской консерватории 16 января 1911 г. и было посвящено сравнительному испытанию струнных инструментов, построенных профессором Черновым, и инструментов старых итальянских мастеров. В том же 1911 г. Общество друзей музыки выпустило в свет специальную брошюру, посвященную испытанию струнных инструментов Д. К. Чернова [28]. В этой небольшой по объему книжке рассказывается о многочисленных экспериментах русского металлурга, позволивших ему открыть «секреты» изготовления музыкальных инструментов высокого качества.

По свидетельству его дочери, сам Д. К. Чернов любил играть на скрипке и петь, на семейных вечерах он часто исполнял любимые арии из русских опер и романсы, обладая «басом красивого тембра». Ученый увлекался также живописью — в свободное время много писал маслом и акварелью. Он собрал большую коллекцию изделий из янтаря, а также куски необработанной янтарной смолы, нередко с застывшими в них насекомыми. К большому дому в Петербурге на Песочной улице (ныне улица Попова), купленному в 1900 г., Чернов пристроил застекленные оранжереи, в которых росли лимоны, пальмы, азалии, розы и многие другие растения. Рядом с домом он разбил фруктовый сад, где разводил яблони, землянику, смородину, крыжовник и другие культуры. Садоводство также было увлечением ученого, которому он отдавал много времени.

---

[26] *Чернов Д. К.* О наступлении возможности механического воздухоплавания без помощи баллона. — Зап. имп. Русск. техн. о-ва, 1894, № 7, с. 29—61.

[27] *Адеркас-Чернова А. Д.* Воспоминания о Д. К. Чернове. — Вопросы истории естествознания и техники, 1962, вып. 12, с. 190—192.

[28] К испытанию инструментов проф. Д. К. Чернова. СПб., 1911, с. 15.

«Отец любил коллекционировать оружие, — вспоминала А. Д. Адеркас-Чернова. — В его кабинете было целое собрание сабель, кинжалов и клинков из дамасских сталей. . . .В его коллекции были также рыцарские шлемы и кольчуги, копья, стрелы, лук. Все это он собрал для изучения рисунков на стали, характеризующих ее свойства и структуру» [29]. В дальнейшем коллекция булатных клинков была подарена Д. К. Черновым Артиллерийской академии и в настоящее время находится в Ленинградском музее истории военной техники.

Д. К. Чернова всегда интересовали необыкновенные механические качества и красивый внешний узор старинных булатных клинков, изготовленных в Сирии, Индии и других странах Востока в древности и в средние века. Чернов тщательно изучал химический состав, структуру и внешний вид булатной стали. В знаменитом докладе о полиморфизме железа (1868 г.) он безоговорочно утверждал, что «самая лучшая сталь, какую когда-либо, где-либо делали, есть, без сомнения, булат» [30].

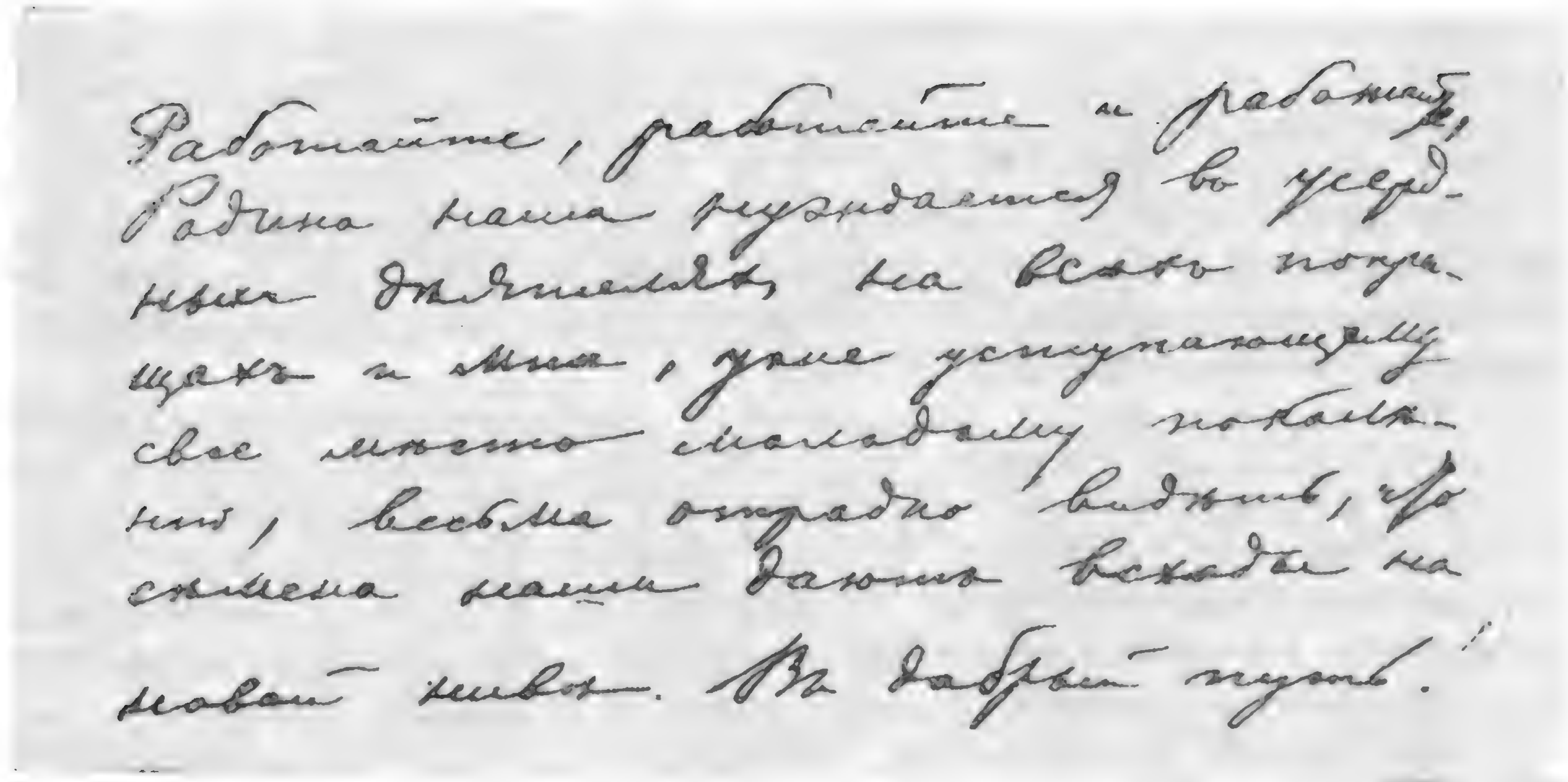
Д. К. Чернов неоднократно подчеркивал исключительную чистоту железоуглеродистой булатной стали. Работы П. П. Аносова, продолженные Черновым, показали, что неповторимые узоры булата объясняются не сплавлением железа с другими металлами, а именно *чистотой* железоуглеродистого сплава, технологией его выплавки, термическими условиями остывания слитка и его последующей ковкой.

В 1889 г. Д. К. Чернов был приглашен на должность руководителя и профессора кафедры металлургии Михайловской артиллерийской академии в Петербурге. С этого времени начинается его более чем четвертьвековая педагогическая деятельность. Его лекции слушались с захватывающим интересом. Он был выдающимся педагогом, умевшим передать слушателям и глубокие теоретические знания, и свой огромный производственный опыт. Созданные Черновым учебные курсы сталелитейного и чугунолитейного дела отличаются высоким научным уровнем, ясным и четким изложением материала по теоретическим и практическим вопросам артиллерийского производства. Несколько поколений русских артиллеристов прошли серьезную школу под руководством Чернова. Многие из них стали в дальнейшем видными учеными в области металлургического производства.

В 1914 г., отмечая 75-летие со дня рождения Д. К. Чернова и 25-летие его педагогической деятельности, конференция Артиллерийской академии обратилась к нему с приветственным адресом. «Четверть века тому назад, — говорилось в приветствии, — во всеоружии научной и практической подготовки Вы вступили в ряды профессоров Михайловской артиллерийской академии и, заняв ответственную и важнейшую для технической подготовки артиллерийских офицеров кафедру металлургии стали, с первых же шагов Вашей деятельности в Академии поставили ее на должную высоту, а затем в течение двадцати пяти лет неустанно и талантливо держали ее на уровне современного состояния науки.

---

[29] *Адеркас-Чернова А. Д.* Указ. соч., с. 191.
[30] Наст. том, стр. 29.


Работайте, работайте и работайте,
Родина наша нуждается въ усерд-
ныхъ деятеляхъ на всехъ попри-
щахъ и мне, уже уступающему
свое место молодому покол-
нiю, весьма отрадно видеть, что
смена наша дает всходы на
новой ниве. Въ добрый путь!

Из письма Д. К. Чернова его ученикам от 22 августа 1895 г. (автограф)

Ваши всегда увлекательные лекции, развертывавшие перед слушателями широкие научные горизонты не только в технике металлургии, но и в других соприкасающихся с нею отделах технологии и естествознания, оставляли у слушателей неизгладимое впечатление на всю жизнь и указывали им верные пути для дальнейшего развития и усовершенствования металлургической техники, чем Ваши слушатели широко пользовались при их практической деятельности на службе в артиллерии» [31].

Неизменно доброжелательно, с большой любовью относился Д. К. Чернов к своим питомцам. Один из его учеников, впоследствии видный металлург, профессор И. А. Крылов писал о своем учителе: «Д. К. Чернов не терял связи со своими учениками и по выходе их из Артиллерийской академии, будучи на редкость любезным и отзывчивым человеком. Стоило написать письмо Д. К. Чернову с каким-либо запросом или просьбой в указании литературы по интересующему вопросу, в каком-нибудь совете, как немедленно получался ответ с исчерпывающим разъяснением по запросу, часто с эскизными чертежами» [32].

В своих учениках, в молодых соотечественниках Д. К. Чернов видел людей, которые продолжат славные традиции русской науки, выведут нашу страну на широкую дорогу прогресса. 22 августа 1895 г. он писал И. А. Крылову: «Работайте, работайте и работайте! Родина наша нуждается в усердных деятелях на всех поприщах, и мне, уже уступающему

---

[31] Цит. по ст.: *Головин А. Ф.* Значение трудов Д. К. Чернова в развитии отечественной артиллерийской техники. — Труды по истории техники, вып. 2 М.: Изд-во АН СССР, 1953, с. 60.

[32] *Крылов И. А.* Д. К. Чернов и артиллерийское дело. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Пг., 1923, с. 81.

свое место молодому поколению, весьма отрадно видеть, что семена наши дают всходы на новой почве. В добрый путь!»

Д. К. Чернов являлся видным общественным деятелем. Еще молодым инженером, в 1866 г., он принял активное участие в организации и работе Русского технического общества, объединявшего в то время наиболее прогрессивные слои русской инженерно-технической интеллигенции. Ученый считал своим почетным долгом знакомить со своими работами прежде всего техническую общественность, отзывы и критику со стороны которой он очень ценил. Поэтому он систематически докладывал на собраниях Общества о всех своих работах еще до опубликования их в печати.

Д. К. Чернов создал при Русском техническом обществе специальную металлографическую комиссию, которой бессменно руководил до самой своей смерти.

Русский ученый-металлург высоко оценивал роль и значение научно-технических обществ в прогрессе отечественной науки. В ответ на сообщение о присуждении ему в марте 1903 г. почетной медали Русского технического общества и об избрании его почетным членом этого Общества Д. К. Чернов писал: «Я глубоко тронут вниманием Совета и всего Общества к моим трудам на научно-техническом поприще и той высокой оценкой моих скромных услуг, оказанных металлургической промышленности. При этом я не могу не вспомнить о тех обстоятельствах, которые поощряли меня к усиленному труду и способствовали успеху моих работ. Начало моей практической деятельности, по счастливой случайности, совпало с нарождением Русского технического общества, которое доставило всем русским техникам возможность несуществовавшего дотоле свободного общения и обмена мыслей на технических беседах по различным отраслям прикладных наук и технической практики. Среди богатых знаниями и умудренных опытом заслуженных деятелей пробовали свои силы молодые начинающие техники, ободренные сочувственным товарищеским приемом своих первых робких шагов на пути приложения к практике школьных знаний, они охотно несли в Общество каждый добытый успех, чтобы поделиться им со своими сочленами и в беседах по своим докладам найти нравственные удовлетворения за понесенные труды, получить драгоценные указания и почерпнуть новые силы для продолжения своих работ. При таком взаимном общении с ИРТ обществом протекала почти вся моя практическая деятельность начиная с самых первых ее шагов, так как почти все печатные труды мои были предметом докладов Обществу. Считаю нравственным долгом выразить чувство моей искреннейшей признательности Императорскому Русскому техническому обществу за то теплое сочувствие и ободрявшее меня внимание, каким всегда пользовался при моих докладах в Обществе; ему же обязан я и теми заслугами, которые теперь так щедро награждает меня Общество. Заканчивая мою научно-техническую деятельность, я с чувством полного удовлетворения уступаю свое место в Обществе молодым сочленам, приветствую их с вступлением на пройденные нашим поколением пути и искренно желаю, чтобы они хранили наши заветы — трудиться, не покладая рук, на пользу Об-

щества, на процветание нашей отечественной техники и на славу дорогой нам Родины. . .» [33].

В 1910 г. было создано Русское металлургическое общество. Одним из его организаторов был Д. К. Чернов. На первом же заседании нового общества он был избран его почетным председателем.

Подобно многим другим деятелям русской науки, Д. К. Чернов был блестящим популяризатором и пропагандистом научных знаний. Он принимал участие в публичных лекциях, часто читал лекции с благотворительными целями — в пользу нуждающихся студентов и т. д.

Д. К. Чернов живо интересовался работой новаторов в области науки и техники и многим помогал. Он не пропускал ни одного заседания Русского технического общества и других научных организаций, на котором обсуждалась какая-нибудь серьезная проблема.

В октябре 1914 г. научная общественность Петрограда широко отметила 75-летний юбилей Д. К. Чернова. Среди многочисленных приветствий, полученных юбиляром, было и приветствие Русского металлургического общества. В нем говорилось: «Полвека тому назад Вы начали свои исследования важных и трудных вопросов металлургии стали. В то время природа и свойства стали представляли темную и загадочную область. Попытки проникнуть в таинственные явления закалки, отпуска и отжига, предпринимавшиеся выдающимися представителями человеческого гения, не привели ни каким результатам и казалось, что тайна стали надолго останется скрытой для ума человека.

Ваши гениальные открытия пролили неожиданный свет на эти загадочные явления, внесли ясность и простоту в эту трудную область и произвели глубокий переворот в металлургии стали. Не ограничиваясь только научным изучением явления, Вы приложили Ваши открытия к практике и положили начало новому направлению — термической обработке стали, этой важнейшей отрасли современной металлургической техники» [34].

Осенью 1916 г. Д. К. Чернов опасно заболел и вынужден был выехать для лечения в Крым. В первые послеоктябрьские годы он не мог возвратиться в Петроград. Крым был отрезан войсками белогвардейцев и интервентов. В эти годы больной старый ученый терпел нужду, нередко голодал. В это время он получил приглашение английских фирм переехать для работы в Англию. В Крым был прислан специальный корабль. Однако ученый отказался покинуть Родину, которой отдал свои силы и знания.

Дмитрий Константинович Чернов умер в Ялте 2 января 1921 г. от воспаления легких и ослабления сердечной деятельности.

---

[33] Цит. по ст.: *Головин А. Ф.* О жизни и деятельности Дмитрия Константиновича Чернова. — Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 97.

[34] Там же, с. 98.

ПРОВОЗВЕСТНИК И ГЛАВА НОВОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

Научный авторитет Д. К. Чернова был признан не только в нашей стране, но и далеко за ее пределами. Чернов состоял заслуженным профессором Михайловской артиллерийской академии и почетным членом Конференции академии, почетным председателем Русского металлургического общества, почетным членом Петроградских технологического и политехнического институтов, Петроградского общества технологов, почетным вице-президентом английского Института железа и стали, почетным членом-корреспондентом Лондонского королевского общества, почетным членом американского Института горных инженеров и ряда других научных организаций.

Можно смело сказать, что прогресс теоретической и практической металлургии и металловедения за последние более чем сто лет идет по пути, указанному Д. К. Черновым, на основе реализации его научных идей. Это лучше всего подтверждается высокими оценками научного творчества русского ученого, высказанными крупнейшими металлургами и металловедами, как современниками Чернова, так и учеными нашего времени.

В 1900 г., на Всемирной парижской выставке, известный французский металлург Г. Монгольфье, приветствуя Д. К. Чернова, говорил: «Считаю своим долгом открыто и публично заявить в присутствии стольких знатоков и специалистов, что наши заводы и все сталелитейное дело обязаны настоящим своим развитием и успехами в значительной мере трудам и исследованиям русского инженера Чернова, и приглашаю Вас выразить ему нашу искреннюю признательность и благодарность от имени всей металлургической промышленности» [35].

Спустя два десятилетия, в некрологе, посвященном памяти Д. К. Чернова, французский металловед А. Портевен писал: «Чернов был провозвестником и главой новой школы; его первые труды послужили фундаментом для последующего удивительного прогресса в области металлургии стали, для которой вторжение науки оказалось поистине революционным. . . Столь прекрасная жизнь, получившая мировую оценку, делает великую честь России» [36].

В 1939 г., в статье, посвященной столетию со дня рождения Д. К. Чернова, А. А. Байков следующими словами характеризовал роль своего учителя в развитии металлургии: «Значение Д. К. Чернова для металлургии можно сравнить со значением Д. И. Менделеева для химии, и подобно тому как химия в своем дальнейшем развитии будет идти по пути, указанному Д. И. Менделеевым, так и металлургия стали будет развиваться в том направлении, которое было указано Д. К. Черновым» [37].

---

[35] Сб. «Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921)». Пг., 1923, с. 68.

[36] Там же, с. 24—25.

[37] *Байков А. А.* Великий русский металлург Дмитрий Константинович Чернов и его научные труды. — В кн.: *Байков А. А.* Собрание трудов. Т. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948.

В годы Великой Отечественной войны академик П. Л. Капица говорил в одном из своих выступлений: «Чему обязана своим высоким уровнем наша металлургия? Конечно, в первую очередь, работам Чернова и всех его учеников и тем традициям научного подхода в металлургии, которые они создали в продолжение многих лет. Инженерам принадлежит, конечно, большая заслуга; они сумели воспринять, извлечь все, что нужно, из большой науки, созданной основоположниками нашей научной металлургии. Но без Чернова, Курнакова и их последователей наша металлургия, конечно, не дала бы ни такой хорошей стали, необходимой для наших орудий, которыми вооружена армия, ни такой великолепной брони, какую мы делаем сейчас. А без нее конструкторы были бы бессильны создать первоклассные танки» [38].

И теперь наши ученые вновь и вновь возвращаются к научному творчеству прославленного русского металлурга, подчеркивая его значение для современности. «Перечитывая труды Д. К. Чернова, — пишет академик А. А. Бочвар, — постепенно можно создать цельное представление о методе работы этого выдающегося ученого. Обобщая все характерные черты его творчества, поражаешься свежести и современности той картины, которая при этом вырисовывается.

Путь ученого на примере творчества Д. К. Чернова, — продолжает А. А. Бочвар, — это тот же современный ленинский путь от созерцания фактов и явлений к абстрактному мышлению и анализу и отсюда к практическому претворению в жизнь выводов, который является основой научного прогресса в мире.

Трудно указать лучший пример умелого и плодотворного проведения в жизнь идеи о единстве теории и практики, чем пример деятельности Д. К. Чернова. . . Таким образом, не только по содержанию и результатам работ, но и по их целеустремленности Д. К. Чернов близок нашему времени. . .» [39].

Великий русский металлург Дмитрий Константинович Чернов был и остается нашим современником. Его научные труды по-прежнему помогают развивать и укреплять черную металлургию в СССР, прочно удерживающую по производству чугуна, стали и проката первое место в мире.

---

[38] *Капица П. Л.* Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1974, с. 69.

[39] *Бочвар А. А.* Работы Д. К. Чернова в области металловедения и их значение в современной науке. — Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 12.

БИБЛИОГРАФИЯ *

ТРУДЫ Д. К. ЧЕРНОВА

1863

1. Винт. — Горный журн., 1863, № 9, с. 505—525. Совм. с П. Г. Киреевым.

1865

2. О наивыгоднейшей степени расширения пара в машинах двойного действия. — Журн. мануфактур и торговли, 1865, т. 4, с. 429—441.
3. Исследования о цементации железа. — Там же, т. 5, с. 203—215.
4. Усовершенствования в бессемеровском способе приготовления стали и железа. — Там же, с. 217—232.
5. Универсальное колено Блееса. — Там же, т. 8, с. 600—604.

1867

6. Таблицы для облегчения вычислений. Карманная книжка для техников. СПб., 1867. 270 с. Совм. с П. Г. Киреевым.
7. О выделке стальных осей для подвижного состава железных дорог. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1867, № 6, с. 411—421.
   Выдержки из работы. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов. М.: Машгиз, 1950, с. 156—158.

1868

8. Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1868, № 7, с. 339—440.
   То же. — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 1—41.
   То же. — В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова. Пг., 1915, с. 1—41.
   То же. — В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах/Под ред. акад. Н. Т. Гудцова. Л.; М.: Металлургиздат, 1950, с. 63—109.
   Выдержки из работы. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 77—110.
   То же. — Наст. том, статья 1.
   Пер. на англ. яз. (пер. Андерсона). — Engineering, 1876, July 7, p. 11—12, il.; July 14, p. 40—42, il. Отд. изд. перевод Андерсона: Remarks on the manufacture of iron and steel and the mode of working it by D. Chernoff. London: Clowes and Son., 1876.
   Реф. — Engineer, 1876, June 23, p. 471;
   Engineering, 1876, June 30, p. 559—560.
   Пер. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 832—839.
9. Материалы для изучения стали и стальных орудий. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1868, № 11—12, с. 517—525.
   То же. — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 42—53.
   То же. — В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 42—53.
   То же. — В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 110—122.
   То же. — Наст. том, статья 2.

1870

10. Микроскопические исследования над структурою стали. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1870, № 2, с. 75—96.

* Библиография составлена А. С. Федоровым.

11. Выступление в прениях на заседании имп. Русского технического общества 20 января 1870 г. по сообщению Гразгофа «О необходимости наружного подогрева при изготовлении чугунных орудий большого калибра». — Там же, № 3, с. 109—113.

1873

12. Об отливке новой наковальни для пятидесятитонного молота на Обуховском заводе. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1873, № 4, с. 237—252.
То же. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 159—166.
13. Выступление в прениях на заседании имп. Русского технического общества 31 марта 1873 г. по сообщению Иоссы «Об отливке стула для пятидесятитонного молота на Пермском сталепушечном заводе». — Зап. имп. Русск. техн. о-ва, 1873, № 4, с. 232—236.

1876

14. Обзор успехов сталелитейного дела за последние 15—20 лет. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1876, № 6, с. 273—312.
То же. — ‹Отд. оттиск›. СПб., 1877. 40 с.
15. Материалы для изучения бессемерования. — Там же, № 3, с. 1—24.
То же. — Там же, 1877, № 3, с. 119—135.
То же. — ‹Отд. оттиск›. СПб., 1876—1877. 24 с.
То же. — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 54—90.
То же. — В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 54—90.
То же. — В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 123—163.
То же. — Наст. том, статья 11.
Перев. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 860—866.
16. Спектральные наблюдения над бессемеровым процессом. — Горный журн., 1876, № 9, с. 111—134.
Выдержки из работы.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 167—177.
17. О мерах к развитию в России рельсового производства. — Горный журн., 1876, № 10, с. 370—386.

1879

18. Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1879, № 1, с. 1—24.
То же. — ‹Отд. оттиск›. СПб., 1879. 24 с.
То же. — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 91—114.
То же. — В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова. СПб., 1915, с. 91—114.
То же. — В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 164—195, 30 ил.
Выдержки из работы. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 111—134.
То же. — Наст. том, статья 12.
Перев. на англ. яз.: Proceedings of the Institute of mechanical engineers, 1880, January, p. 152—181.
Реф.: Journal of iron and steel institute, 1880, N 1, p. 394—395.
Перев. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 842—852.

1881

19. Взгляд на положение железных заводов на Урале.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1881, № 1, с. 1—66.

1885

20. Обобщение по поводу некоторых новых наблюдений при обработке стали.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1885, № 2, с. 59—67.
То же.— ‹Отд. оттиск›. СПб., 1885. 9 с.
То же.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 115—122.

То же.— В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 115—122.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 196—207.
То же.— Наст. том, статья 3.
Перев. на франц. яз.: Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1902, Décembre, p. 747—758, 15 il.; Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 866—867, 3 il.

21. О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1885, № 6, с. 83—113.
То же.— <Отд. оттиск>. СПб., 1885. 33 с.
То же.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 123—152.
То же.— В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 123—152.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 208—243.
То же.— Наст. том, статья 4.
Выдержки из работы.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 135—155.
Перев. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 852—860.

22. Отчет по командировке главного заводского инспектора летом 1887 года для обзора уральских рельсовых заводов и Екатеринбургской промышленной выставки.— Журн. Министерства путей сообщения, 1888, № 38, отд. X, с. 9—27; № 43, отд. X, с. 29—66.
То же.— <Отд. оттиск>. СПб., 1888. 56 с.

1889

23. Отчет по командировке главного заводского инспектора летом 1888 г. Обзор южных рельсовых заводов.— Журн. Министерства путей сообщения, 1889, № 4, отд. X, с. 1—34.
То же.— <Отд. оттиск>. СПб., 1889. 34 с.
Выдержки из работы.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 178—198.

1891

24. Сталелитейное дело. Лекции, читанные в дополнительном курсе Михайловской артиллерийской академии в 1889—1890 и 1890—1891 гг. СПб., 1891. 343 с. (Изд. литогр.)

1892

25. Сталелитейное дело. Лекции, читанные в дополнительном курсе Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1892. 191 с. (Изд. литогр.)

1893

26. Чугунолитейное дело. Лекции, читанные в Михайловской артиллерийской академии в 1892—1893 гг. СПб., 1893. 259 с.

1894

27. О наступлении возможности механического воздухоплавания без помощи баллона.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1894, № 7, с. 29—61.
То же.— <Отд. оттиск>. СПб., 1894. 33 с. Также: СПб., 1895. 35 с.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 269—306.

28. Заключительное слово 4 марта 1894 г. по докладу Д. К. Чернова «О наступлении возможности механического воздухоплавания без помощи баллона».— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1894, № 9, с. 71—75.

29. Дополнения к учебному курсу металлургии чугуна, железа и стали. Для младшего класса Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1894. 132 с. (Изд. литогр.)

1898

30. Сталелитейное дело. Лекции, читанные в дополнительном курсе Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1898. 272 с. (Изд. литогр.)

То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 406—553.
То же.— Наст. том. Раздел III (статья 15).

1899

31. О прямом получении литого железа и стали в доменной печи.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1899, № 3, с. 175—198.
То же.— ‹Отд. оттиск›. СПб., 1899. 26 с.
То же.— Журн. имп. Русск. металлург. об-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 153—172.
То же.— В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 153—172.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 307—327.
То же.— Наст. том, статья 13.
Перев. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 868—873, 3 il.
32. Damask steel ‹Дамасская сталь›.— Metallografist, 1899, vol. 2, N 3, p. 255.
33. A remarkable steel crystall ‹Замечательный кристалл стали›.— Metallografist, 1899, vol. II, N 1, p. 74—95, 1 il.
34. Привилегия № 2033. Группа I. 15 апреля 1899 г. Описание газовой доменной печи для прямого получения железа, стали или чугуна. К привилегии инженер-технолога Д. К. Чернова, заявленной 3 января 1898 г.— Свод привилегий, выданных в России, 1899, вып. 4, с. 1313—1316, черт.

1900

35. Привилегия № 3296. Группа XI, 28 марта 1900 г. Описание электрического газонагревателя. К привилегии инженер-технолога Д. К. Чернова, заявленной 31 октября 1898 г.— Свод привилегий, выданных в России, 1900, вып. 3, с. 801—802, черт.

1901

36. Чугунолитейное дело. Лекции, читанные в Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1901. 190 с. (Изд. литогр.)
Выдержки из лекции.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 315—345.

1904

37. Личные воспоминания об А. Р. Шуляченке.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1904, № 1, с. 29—32.

1906

38. Сталелитейное дело. Лекции, читанные в дополнительном курсе Михайловской артиллерийской академии. СПб., 1906. 357 с. (Изд. литогр.)
Выдержки из лекций. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 213—314.

1907

39. О соотношении между структурой рельсов и их службой в пути. — Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1907, № 9—10, с. 401—404.
40. О кристаллах алмаза и карборунда в стали.— Там же, № 7—8, с. 373—384.
То же.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 173—181.
То же.— В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 173—181.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 328—337.
То же.— Наст. том, статья 14.

1908

41. Привилегия № 14376. Группа I—X. 30 сентября 1908. Описание газовой металлургической печи к привилегии инженер-технолога Д. Чернова и горного инженера М. Сендзиковского, заявленной 20 марта 1906 г.— Свод привилегий, выданных в России, 1908, вып. 9, с. 4381—4382.

1912

42. О выгорании каналов в стальных орудиях.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1912, № 5, с. 705—715.
То же.— Артиллерийский журн., 1912, № 7, с. 841—953. <Отд. оттиск>. СПб., 1912. 13 с.
То же.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. 182—192.
То же.— В кн.: Труды Дмитрия Константиновича Чернова, с. 182—192.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 338—352.
То же.— Наст. том, статья 6.
Выдержки из работы.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов, с. 199—209.
Перев. на франц. яз.: Revue de métallurgie, 1915, N 10, p. 874—882; Revue d'artillerie, 1914.
Перев. на нем. яз.: Kriegslechnische Zeitschrift, 1913.

1916

43. Письмо редактору «Журнала Русского металлургического общества» 10 ноября 1916 г.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1916, № 3, с. 189—200.
То же.— <Отд. оттиск>. Пг., 1916. 12 с.
То же.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка, с. 149—161.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 381—394.
То же.— Наст. том, статья 9.

1923

44. О влиянии механической и термической обработки на свойства стали.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка, с. 95—119.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 244—268.
То же.— Наст. том, статья 5.
45. О точке *b* Чернова. Доклад на Втором Всероссийском съезде деятелей по горному делу, металлургии и машиностроению 17 апреля 1913 г.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 120—125.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 353—358.
То же.— Наст. том, статья 7.
46. Афоризмы из области металлургии стали.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 130—148.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 359—380.
То же.— Наст. том, статья 8.
47. «Невозможное». Методы решения при помощи линейки и циркуля геометрических задач о трисекции угла, выпрямлении дуги окружности, квадратуры круга.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 162—166.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 395—399.
48. Из переписки с проф. Е. Гейном.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 169—176.
То же.— В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах, с. 400—405.
То же.— Наст. том, статья 10.

СБОРНИКИ ТРУДОВ Д. К. ЧЕРНОВА

1. Труды Дмитрия Константиновича Чернова. Пг., 1915. 192 с.
   Сборник представляет собой отдельный оттиск трудов, опубликованных в № 1 Журнала Русского металлургического общества за 1915 г. к 75-летию Д. К. Чернова.
2. Дмитрий Константинович Чернов. Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923. 178 с. (Труды Комиссии по изучению архива Д. К. Чернова при Русском металлургическом обществе).
3. Д. К. Чернов и наука о металлах/ Под ред. академика Н. Т. Гудцова. М.; Л.: Металлургиздат, 1950. 564 с.
4. Дмитрий Константинович Чернов — основоположник научного металловедения. Жизнь, деятельность и выдержки из трудов/ Общ. ред. и вступ. очерк Б. Е. Воловика. М.: Машгиз, 1950. 352 с.

ЛИТЕРАТУРА О Д. К. ЧЕРНОВЕ

Дореволюционные работы

1. *Бабошин А. Л.* Положение критических точек в рельсах с различным содержанием марганца. Влияние отжига на структуру рельсовой стали при различном содержании марганца.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1907, № 12, с. 495—524.
2. *Бабошин А. Л.* О точке *b* Чернова.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1911, № 2, ч. 1, с. 89—101.
3. *Бабошин А. Л.* Еще о точке *b* Чернова.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1916, № 1/2, ч. 1, с. 75—78.
4. *Бартельс Н. А.* Дмитрий Константинович Чернов о выгорании каналов в стальных орудиях.— Вестн. О-ва технологов, 1914, № 23, с. 855—857.
5. Дмитрий Константинович Чернов.— Там же, с. 843.
6. Дмитрий Константинович Чернов, почетный председатель Русского металлургического общества: Крат. биогр. сведения.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. III—XI.
7. *Евангулов М. Г.* Металлография и ее приложения: Докл. на собрании инж.-технологов 3 марта 1901 г.— Вестн. О-ва технологов, 1901, № 4, с. 163—171.
8. *Евангулов М. Г.* Критические точки Осмонда и Чернова.— Там же, 1902, № 4, с. 150—153.
9. *Евангулов М. Г.* Научные работы Дмитрия Константиновича Чернова.— Там же, 1914, № 23, с. 850—854.
10. *Евангулов М. Г., Вологдин С. П.* Критические точки Осмонда и Чернова и два рода кристаллизации.— В кн.: Металлография: Пособие для изучения строения металлов. СПб., 1905, с. 92—101.
11. *Еремин К. А.* Точка *b* Чернова и точка *b* Осмонда. — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1914, № 5, ч. 1, с. 584—591.
12. Занятия комиссии, назначенной для рассмотрения способа обработки стали, предложенного Д. К. Черновым.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1870, № 2, с. 44—76.
13. *Ижевский В.* Новые данные об изменениях стали при отжиге. Дифференциация перлита. Вакуум-электрическая печь.— Вестн. технологии, Киев, 1910, № 5/6, с. 31—37; № 9, с. 1—7; № 12, с. 1—9. [Оценка учения Чернова о критических точках стали и о булате].
14. К испытанию инструментов профессора Д. К. Чернова. СПб.: Гл. упр. уделов, 1911. 15 с.
15. *Лабзин Н. Ф.* Дмитрий Константинович Чернов.: К семидесятипятилетию со дня рождения.— Вестн. О-ва технологов, 1914, № 23, с. 844.
16. Применение микроскопической металлографии к производству рельс и теория Чернова/ Пер. с фр. П. Семенченко-Даценко. СПб., 1901. 77 с.
17. Прямое получение железа и стали из руд по способу Чернова.— Горнозаводская газ., СПб., 1900, № 24.
18. *Сальдау П. Я.* О новой разграничительной линии, проходящей в области аустенита при 980 °С, и точке *b* Чернова.— Журн. Рус. металлург. о-ва, 1916, № 1/2, ч. 1, с. 78—81.
19. Теории о строении стали.— Оружейный сб., 1895, № 4, с. 61—95.
20. *Трухманов Ф. И.* Дмитрий Константинович Чернов: (По поводу избрания Д. К. Чернова почетным членом О-ва технологов).— Вестн. О-ва технологов, 1903, № 10, с. 387.
21. *Шуляченко А. Р.* Дмитрий Константинович Чернов.— Зап. имп. Рус. техн. о-ва, 1903, № 4, с. 217—239.
22. *Яковлев В. А.* Деятельность Дмитрия Константиновича Чернова на Обуховском сталелитейном заводе.—Вестн. О-ва технологов, 1914, № 23, с. 845—850.

Современные работы

1. *Адеркас-Чернова А. Д.* Воспоминания о Д. К. Чернове.— Вопр. истории естествознания и техники, 1962, вып. 12, с. 190—192.

   То же.— Металловедение и термическая обработка, 1968, № 5, с. 19—21.

2. *Бабошин А. Л.* Обработка стали и точки *a* и *b* Чернова.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов: Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг.: Химтехиздат, 1923, с. 53—67.
3. *Байков А. А.* Д. К. Чернов и его научные труды. — Сталь, 1939, № 10/11, с. IX—XIII.
4. *Байков А. А.* Борец за торжество передовой металлургии.— Индустрия социализма, 1940, № 1, с. 48—51.
   То же. — В кн.: Байков А. А. Собрание трудов. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1948, с. 250—264. Под назв.: Великий русский металлург Дмитрий Константинович Чернов и его научные труды.
5. *Бардин И. П.* Основоположник современного металловедения, выдающийся русский ученый-металлург Д. К. Чернов.— Изв. АН СССР. ОТН, 1951, № 6, с. 900—906.
6. *Бардин И. П.* Великий русский ученый-металлург.— В кн.: Труды по истории техники. М.: Изд-во АН СССР, 1953, вып. 2, с. 5—15.
7. *Бочвар А. А.* Работы Д. К. Чернова в области металловедения и их значение в современной науке.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 9—13.
8. *Воловик Б. Е.* Жизнь и деятельность Д. К. Чернова.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов: Жизнь, деятельность и выдержки из трудов. М.: Машгиз, 1950, с. 11—78.
9. Выдающийся русский металлург: К 25-летию со дня смерти Д. К. Чернова.— Производств. обучение, 1945, № 7, с. 22.
10. *Головин А. Ф.* Д. К. Чернов — основоположник металлографии и термической обработки стали: Крат. биогр. очерк.— Металлург, 1939, № 10/11, с. 60—66.
    То же.— Изв. Арт. акад. Красной Армии им. Дзержинского, 1940, Юбил. вып. (1839—1939), с. 120—127.
11. *Головин А. Ф.* Значение трудов Д. К. Чернова в развитии отечественной артиллерийской техники.— В кн.: Труды по истории техники, вып. 2, 1953, с. 33—63.
12. *Головин А. Ф.* Чернов Дмитрий Константинович.— БСЭ. Изд. 2-е, 1957, т. 47, с. 168.
13. *Головин А. Ф.* К столетию открытия Д. К. Черновым полиморфных превращений в стали (1868—1968).— Металловедение и термическая обработка, 1968, № 5, с. 2—11.
14. *Головин А. Ф.* О жизни и деятельности Дмитрия Константиновича Чернова (1839—1921).— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 83—101.
15. *Головин А. Ф.*, *Кондратьев А. Н.* Очерк истории развития металлургического образования в Артиллерийской академии.— Изв. Арт. акад. Красной Армии им. Дзержинского, 1941, т. 31, с. 225—236.
16. *Гудцов Н. Т.* Жизнь и деятельность Д. К. Чернова.— В кн.: Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. М.: Металлургиздат, 1950, с. 3—14.
17. *Гуляев Б. Б.* Творческий путь Д. К. Чернова.— Там же, с. 15—26.
18. *Гумилевский Л. И.* Дмитрий Константинович Чернов. М.: Мол. гвардия, 1944. 64 с.
19. *Гумилевский Л. И.* Русские инженеры. М.: Мол. гвардия, 1947, с. 215—248.
20. *Гумилевский Л. И.* Чернов. М.: Мол. гвардия, 1975. 204 с. (Жизнь замечательных людей).
21. *Данилевский В. В.* Русская техника. Л.: Лениздат, 1948, с. 104—107.
22. *Длугач Л. С.* Великий русский металлург: (К 25-летию со дня смерти Д. К. Чернова).— Сталь, 1946, № 2, с. 67—70.
    То же.— Химия в школе, 1940, № 6, с. 19—22.
23. Дмитрий Константинович Чернов: (Некролог).— Наука и ее работники, 1921, № 3, с. 39—40.
24. Дмитрий Константинович Чернов.— Вестн. металлопромышленности, 1940, № 3, с. 69—70.
24а. Дмитрий Константинович Чернов: Жизнь, деятельность и выдержки из трудов/ Под ред. Б. Е. Воловика. М.: Машгиз, 1950. 352 с. [На с. 346—348 приведена библиография трудов Д. К. Чернова и литература о нем.]
25. К 30-летию со дня смерти Д. К. Чернова: Заседание в Отд-нии техн. наук АН СССР.— Изв. АН СССР. ОТН, 1951, № 3, с. 476—477.

26. *Ковалев В. И.* Новые материалы к биографии Д. К. Чернова.— Тр. Ленингр. политехн. ин-та им. М. И. Калинина, 1959, т. 207, с. 146—152.
27. *Конобеевский С. Т.* Роль русских исследователей в развитии учения о твердом теле (Федоров, Курнаков, Чернов).— Учен. зап. МГУ, 1946, т. 1, вып. 92, с. 45—57.
28. *Крылов И. А.* О выгорании каналов в стальных орудиях.— В кн.: Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Пг., 1922, с. 14—16.
29. *Крылов И. А.* Д. К. Чернов и артиллерийское дело.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов: Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 68—91.
30. *Крылов И. А., Сальдау П. Я.* Биографический очерк Д. К. Чернова.— В кн.: Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Пг., 1922, с. 5—8.
31. *Курдюмов Г. В., Энтин Р. И.* Структура мартенсита и прочность стали.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 31—39.
32. *Лившиц Б. Г.* Д. К. Чернов и мировое значение его работ по металловедению: Стенограмма публ. лекции, прочит. в Центр. лектории в Москве. М.: Правда, 1949. 24 с.
33. *Липин В. Н.* Речь, посвященная памяти Д. К. Чернова.— В кн.: Второй съезд научных деятелей по металлургии имени Д. К. Чернова. Л., 1924, с. 6—7.
34. *Мариенбах Л. М.* Основы ваграночного процесса в трудах Дмитрия Константиновича Чернова.— Литейн. пр-во, 1951, № 5, с. 27—29.
35. *Нессельштраус Г. З.* Точка *b* Чернова и ее значение. — В кн.: Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Пг., 1922, с. 14—16.
36. *Нессельштраус Г. З.* Труды Д. К. Чернова в области кристаллизации железа в стали.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов: Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг., 1923, с. 41—52.
37. *Нессельштраус Г. З.* К 70-летию открытия Д. К. Черновым критических точек в стали.— Зав. лаб., 1938, № 6, с. 683—685.
38. *Нессельштраус Г. З.* Жизнь и деятельность Д. К. Чернова.— основателя металлографии. — В кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах. Л.; М.: Металлургиздат, 1950, с. 7—59.
39. *Окнов М. Г.* Современное состояние диаграммы плавкости: (К 100-летию со дня рождения Д. К. Чернова).— Металлург, 1939, № 10/11, с. 67—75.
40. *Павлов М. А.* Чернов Дмитрий Константинович.— В кн.: БСЭ. 1934, Изд. 1-е, т. 61, с. 302—303.
41. Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Пг.: Гостехиздат, 1922. 21 с.
42. *Покровский Ю. М.* Д. К. Чернов — основоположник современной науки о металле.— Вестн. инженеров и техников, 1938, № 12, с. 764—765.
43. *Покровский Ю. М.* Основоположник современной науки о металле Дмитрий Константинович Чернов: (К 100-летию со дня рождения). — В кн.: Сб. научн. докл. Секции металловедения и термической обработки ВНИТО металлургов. М.: Металлургиздат, 1940, с. 4—14.
44. *Portevin A.* Дмитрий Константинович Чернов.— В кн.: Дмитрий Константинович Чернов. Пг., 1923, с. 23—25. [Пер. из фр. журн. «Revue de Métallurgie», 1921.]
45. *Прокошкин Д. А.* Работы Д. К. Чернова по металлографии и термической обработке.— Изв. АН СССР. ОТН, 1951, № 6, с. 931—939.
46. *Прокошкин Д. А.* Работы Д. К. Чернова по металлографии и термической обработке.— В кн.: Труды по истории техники. М.: Изд-во АН СССР, 1953, вып. 2, с. 64—77.
47. *Прокошкин Д. А.* Современное развитие учения Д. К. Чернова о закалке стали.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 14—30.
48. *Садовский В. Д.* Жизнь, отданная науке.— Металлург, 1968, № 5, с. 60—61.
49. *Садовский В. Д.* Фазовая перекристаллизация при нагреве стали.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 40—52.
50. *Садовский В. Д.* Структурная наследственность в стали. М.: Металлургия, 1973, (Гл. IX. О точке *b* Чернова), с. 164—170.
51. *Sadovsky V. D.* Tschernoff and the development of the theory of the heat treatment of steel.— In: The sorby centenial simp. on the hist. of Met. N. Y., 1965, p. 189—207.

52. *Садовский В. Д.* Чернова точки.— БСЭ. 3-е изд., 1978, т. 29, с. 90.
53. *Самарин А. М.* Работы Д. К. Чернова в области выплавки и разливки стали.— Изв. АН СССР. ОТН, 1951, № 6, с. 907—945.
54. *Самарин А. М.* Работы Д. К. Чернова в области выплавки и разливки стали.— В кн.: Труды по истории техники. М.: Изд-во АН СССР, 1953, вып. 2, с. 16—32.
55. *Самарин А. М.* Д. К. Чернов и современное сталеварение.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 77—82.
56. *Сорокин Ю. Н.* О научном наследии Д. К. Чернова.— В кн.: Труды по истории техники. М., 1953, вып. 2, с. 78—90.
57. *Федоров А. С.* Дмитрий Константинович Чернов.— Техника — молодежи, 1938, № 12, с. 42—45.
58. *Федоров А. С.* Выдающийся ученый-металлург: (К 100-летию со дня рождения Д. К. Чернова). — Правда, 1939, 25 янв.
59. *Федоров А. С.* Дмитрий Константинович Чернов. К 100-летию со дня рождения.— Изв. АН СССР. ОТН, 1939, № 9, с. 91—108.
60. *Федоров А. С.* Великий ученый и патриот.— Наука и жизнь, 1951, № 1, с. 38—40.
61. *Федоров А. С.* Новые материалы о Д. К. Чернове.— Вопр. истории естествознания и техники, 1962, вып. 12, с. 193—195.
62. *Федоров А. С.* Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921).— В кн.: Люди русской науки. М.; Л.: Гостехиздат, 1948, т. 2, с. 950—959.
    То же.— Люди русской науки. Техники. М.: Наука, 1965, с. 260—269.
63. *Федоров А. С.* Яркая страница в науке о металле: (К 100-летию открытия Д. К. Черновым фазовых превращений в стали).— Природа, 1968, № 4, с. 109—115.
64. *Федоров А. С.* Чернов Дмитрий Константинович.— БСЭ. 3-е изд., 1978, т. 29, с. 89.
65. *Федоров А. С.* Творцы науки о металле. М.: Наука, 1980. Гл. IV. Металлургия становится точной наукой, с. 62—86.
66. *Fedorov A. S.* Chernov Dmitry Konstantinovich: Dictionary of Saintific Biography. N. Y., 1971, vol. 3, p. 233—235.
67. *Fedorov A. S.* Černov Dmitrij Konstantinovič.— Scienziati e Tecnologi, Milano, 1975, vol. 1, p. 296—297.
68. *Штейнберг С. С.* Д. К. Чернов — основоположник металлографии: (К 100-летию со дня рождения).— Сталь, 1939, № 10/11, с. XIII—XVIII.
69. *Яковлев В. А.* Речь, посвященная памяти Д. К. Чернова.— В кн.: Памяти Дмитрия Константиновича Чернова. Пг.: Гостехиздат, 1922, с. 17—21.
70. *Яковлев В. А.* Д. К. Чернов и его значение для техники и науки. — В кн.: Дмитрий Константинович Чернов: Очерки из жизни, деятельности, посмертные произведения и избранная переписка. Пг.: Химтехиздат, 1923, с. 29—40.

III. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАТЕЛИ

1. *Абрамов И. В.* Русские металлурги: Рекомендательный указ. лит. М.: Гос. б-ка СССР им.В. И. Ленина, 1950. 79 с.
    [На с. 46—49 приведена биографическая справка о Д. К. Чернове и перечень рекомендуемой литературы о нем.]
2. *Мельникова И. А.* Дмитрий Константинович Чернов: Библиогр. указ. Л.: Гос. Публ. б-ка им. М. Е. Салтыкова-Щедрина, 1951. 56 с.
3. *Мышкина М. И.*, *Раевская М. А.* Металловедение и термическая обработка: Библиогр. справочник, 1860—1947. М.: Машгиз, 1952. 614 с.
    [В справочник включены труды Д. К. Чернова в области металловедения и литература о нем.]
4. *Раевская М. А.* Библиография о великом русском металлурге Д. К. Чернове.— Сов. библиогр., 1950, № 1 (30), с. 95—100.
5. *Сергеева О. П.* Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921): Библиогр. тр. Д. К. Чернова и лит. о нем. М.: Гос. науч. б-ка М-ва высш. образования СССР, 1949. 21 с.
6. Труды Д. К. Чернова: (Библиогр. справка). — Журн. Рус. металлург. о-ва, 1915, № 1, ч. 1, с. X—XI.

ПРИМЕЧАНИЯ

I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

1

Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету

1* Эта первая научно-исследовательская работа Д. К. Чернова была осуществлена им в цехах Обуховского сталелитейного завода в Петербурге с марта 1866 г. по апрель 1868 г. Ее результаты были доложены Д. К. Черновым на трех заседаниях Русского технического общества 20 апреля, 4 и 11 мая (по ст. стилю) 1868 г. Свои исторические сообщения, знаменовавшие начало нового этапа в развитии теории и практики тепловой обработки железоуглеродистых сплавов, Чернов начал с подробного анализа материалов, приведенных в статьях известных русских металлургов: А. С. Лаврова, напечатанных в «Артиллерийском журнале» № 10 и 11 за 1866 г., и Н. В. Калакуцкого, помещенных в том же журнале в № 5, 7, 9, 10 за 1867 г. Далее ученый подробно остановился на собственных исследованиях изменения строения и свойств стали в процессе нагревания и охлаждения, приведших к открытию полиморфизма железа.

Сообщения Д. К. Чернова были напечатаны в июльском номере журнала «Записки имп. Русского технического общества», 1868 г. Семь лет спустя, в 1875 г., Чернов направил печатный текст этих сообщений известному английскому металлургу В. Андерсону, дополнив их небольшим приложением собственноручных рисунков, сделанных им в 1868—1869 гг. с помощью камеры-люциды и микроскопа Партнакка, и кратким их объяснением. В июле 1876 г. сообщения Д. К. Чернова, вместе с приложением к ним, были опубликованы в переводе В. Андерсона в английском научно-техническом журнале «Engineering» и в том же году вышли в Англии отдельным изданием. В дальнейшем сообщения Д. К. Чернова были опубликованы также и во Франции. Таким образом, выдающееся открытие русского ученого получило всемирную известность.

Видный советский металлург академик А. А. Байков в статье, посвященной 100-летию со дня рождения Д. К. Чернова, отмечал, что в 80—90-х годах прошлого века работами отечественных и зарубежных ученых, вооруженных более совершенной измерительной техникой, «открытия Д. К. Чернова полностью были подтверждены и в качественном, и в количественном отношении и в настоящее время они являются основой современного учения о превращениях стали и вытекающих из этого учения способов ее термической обработки» [*Байков А. А.* Собрание трудов, т. 2, 1948, с. 251].

В исторических сообщениях Д. К. Чернова Русскому техническому обществу в 1868 г. сделан также первый набросок диаграммы внутренних превращений в железоуглеродистых сплавах, развитой на рубеже XIX—XX вв. металловедами многих стран — Р. Манессманом, А. Совером, У. Робертс-Аустеном, Б. Розебомом, К. Бенедиксом, Г. Хоу и другими.

2* Лавров Александр Степанович (1838—1904), русский металлург. В 1859 г. окончил Михайловскую артиллерийскую академию в Петербурге, после этого учился два года в Горном институте. С 1861 г. работал военным приемщиком на оружейной фабрике в Златоусте. Одновременно занимался исследованием технологии производства стальных орудий. В 1866 г., совместно с Н. В. Калакуцким, открыл явление ликвации в стали. Лавров описал процесс образования в слитке усадочных раковин и газовых пузырей, разработал рациональную форму изложницы для отливки стального слитка. С 1875 по 1904 г. Лавров занимал пост директора Гатчинского литейного завода (вблизи Петербурга). Здесь в 1891 г. он впервые в мировой практике применил алюминий в качестве раскислителя стали.

3* Калакуцкий Николай Вениаминович (1831—1889), русский металлург и специалист в области артиллерийского производства. В качестве офицера артиллерийской

бригады участвовал в Крымской войне 1853—1856 гг. В 1861—1870 гг. работал приемщиком орудий в Златоусте. В своих работах, публиковавшихся в «Артиллерийском журнале» в 1866—1870 гг., Калакуцкий впервые наиболее полно рассмотрел вопросы влияния способов и температурных условий ковки на структуру и свойства металла. Широкой известностью пользуются работы Калакуцкого по изучению внутренних напряжений, возникающих в литой стали в процессе ее затвердевания, ковки и термической обработки. Этой теме посвящен капитальный труд Н. В. Калакуцкого «Исследования внутренних напряжений в чугуне и стали», вышедший в 1887 г. и вскоре переизданный в Англии и Франции. С 1871 г. до последних дней жизни Калакуцкий занимал инженерные должности на Обуховском заводе в Петербурге.

4* Карон Г., французский химик и металлург. В 60-х годах XIX в. осуществил разносторонние химические исследования видов углерода в сплавах с железом, а также процессов науглероживания стали.

5* Аносов Павел Петрович (1799—1851), выдающийся русский металлург. В 1817 г. окончил Петербургский горный кадетский корпус. Затем работал на заводах Златоустовского горного округа (Южный Урал). В 1819 г. Аносов назначается смотрителем оружейной фабрики, а с 1824 г. — ее управителем. С 1831 г. — начальник златоустовских заводов. С 1847 г. до конца жизни — начальник алтайских заводов.

П. П. Аносов внес большой вклад в теорию и практику металлургического производства. Он разведывал месторождения руд черных и цветных металлов, разрабатывал и внедрял новые процессы и механизмы в золотодобывающую промышленность и производство стали. Аносовым разработаны научные принципы получения высококачественных легированных сталей. Русский металлург впервые применил микроскоп для исследования внутреннего строения стали, положив этим начало микроскопическому анализу металлов.

6* В докладе Д. К. Чернова не указываются температуры, соответствующие критическим точкам, приводятся лишь «цвета каления». В техническом справочнике «Таблицы для облегчения вычислений», изданным Д. К. Черновым (совместно с П. Г. Киреевым) в 1867 г., помещена таблица для определения температур (приблизительно) по цвету каления:

Цвет краснокалильный самый слабый . . .	525° С
» краснокалильный темный	700
» вишневый (при самом начале)	800
» вишневый	900
» краснокалильный яркий	1000
» темно-оранжевый	1100
» ярко-оранжевый	1200
» белокалильный	1300
» белокалильный яркий	1400
» белокалильный ослепительный (плавление железа)	1500—1600° С

2

Материалы для изучения стали и стальных орудий

1* С сообщением на эту тему Д. К. Чернов выступил на заседании Русского технического общества 23 ноября 1868 г. В сообщении приводятся результаты испытаний орудийной стали и изготовленных из нее поковок. Подробная протокольная запись сообщения была опубликована в «Записках имп. Русского технического общества» № 11-12 за 1868 г. При повторном издании этого сообщения в «Журнале Русского металлургического общества» [№ 1, 1915], с которого воспроизведена настоящая публикация, Д. К. Чернов сделал несколько примечаний, уточняющих первоначальный текст. Эти примечания относятся к 1914 г.

Сообщение Д. К. Чернова вызвало оживленное обсуждение участников заседания. Их выступления также были напечатаны в протокольной записи. Ряд видных деятелей науки того времени, среди них известный ученый и специалист в области артиллерийского производства академик А. В. Гадолин (1828—1892), выразили несогласие с выво-

дами Чернова о возможности полностью исключить ковку стальных изделий, заменив ее хорошо проведенным процессом отливки и последующей термической обработки. Вызвали возражения также и некоторые теоретические положения, высказанные Д. К. Черновым.

По предложению председательствовавшего на заседании РТО была образована специальная комиссия, которой поручалось тщательно изучить способы обработки орудийной стали, предложенные Д. К. Черновым. Журналы заседаний Комиссии от 15 и 26 февраля 1869 г. и 16 марта 1870 г., а также сводный отчет, составленный А. В. Гадолиным, были опубликованы в «Записках имп. Русского технического общества», [№ 2, 1870]. Материалы Комиссии полностью подтвердили экспериментальные результаты работы Д. К. Чернова и сделанные на их основе теоретические выводы. Подробнее о работе упомянутой Комиссии см. в «Очерке жизни и деятельности Д. К. Чернова», стр. 397 настоящего издания.

2* По современной терминологии—глазки.

3* Гадолин Аксель Вильгельмович (1828—1892), русский ученый в области проектирования и производства артиллерийских орудий, металлообработки, минералогии и кристаллографии; действительный член Петербургской Академии наук. С 1867 г. — профессор Михайловской артиллерийской академии, в которой ввел специальный курс технологии артиллерийского производства. Разработал теорию скрепления орудийных стволов путем насадки на них цилиндров в горячем состоянии. Много сделал в области проектирования и производства крупнокалиберной артиллерии. А. В. Гадолин внимательно следил за исследованиями Д. К. Чернова, в то время еще молодого ученого, активно участвовал в обсуждении работ Чернова.

3

Обобщение по поводу некоторых новых наблюдений при обработке стали

1* Сообщение, сделанное Д. К. Черновым на заседании Русского технического общества 10 марта 1884 г., вскоре по возвращении в Петербург после трехлетней работы, связанной с разведкой месторождений каменной соли на Украине, посвящено характеристике явлений, сопровождающих холодную пластическую деформацию металлов. Эти явления Чернов наблюдал еще в конце 70-х годов, во время своей работы на Обуховском заводе, при испытании стальных образцов на разрывной машине. Тогда же им была подготовлена программа исследований полированной поверхности стального образца при достижении предела текучести при холодной пластической деформации. «К сожалению, — говорит Д. К. Чернов в своем сообщении, — даже первый образец, приготовленный мною, не подвергся наблюдению, потому что среди моих приготовлений я должен был уступить грубой силе обстоятельств и покинуть не только мои занятия на Обуховском заводе, но и вообще стальное дело». Далее Д. К. Чернов останавливается на исследованиях процессов холодной пластической деформации металлов, выполненных петербургским инженером В. Н. Бек-Гергардтом, А. А. Ржешотарским и рядом зарубежных исследователей.

Сообщение Д. К. Чернова было опубликовано в «Записках имп. Русского технического общества» [№2, 1885]. Спустя 17 лет, в декабре 1902 г., эта работа была целиком напечатана на французском языке в «Бюллетене Французского общества поощрения национальной промышленности». В примечаниях к этой публикации известный французский металлург Ф. Осмонд писал: «Новейшие изыскания о распределении деформаций в металлах, подвергнутых действию внешних усилий, вызывают особый интерес к истории этого вопроса. Поэтому представляется полезным опубликовать в «Бюллетене» Общества перевод научного труда, хотя и носящего дату 1884 год, но который кажется написанным будто вчера. Автор его, профессор Чернов, изыскания которого по обработке стали имели такое большое влияние на эволюцию металлургии стали, оказывается в этом труде настоящим предтечей» (цит. по кн. [Д. К. Чернов и наука о металлах, 1950, с. 556]).

Линии деформации или фигуры текучести на поверхности деформируемых образцов, открытые Д. К. Черновым независимо от немецкого ученого В. Людерса, получили

наименование линий Чернова—Людерса. Они образуются при растяжении или сжатии металлов и ориентированы примерно под углом 45° к оси образца. Эти линии свидетельствуют о неоднородном протекании процессов пластической деформации по массе деформируемого металла.

2* В многотомном «Критико-биографическом словаре русских писателей и ученых» С. А. Венгерова [Пг., 1915. Т. 1, с. 53] помещена короткая справка о В. Н. Бек-Гергардте. В справке сказано, что он был «горный инженер 80-х годов, действительный статский советник, член совета по железнодорожным делам».

3* Ржешотарский Альфонс Александрович (1847—1904), русский металлург и металловед. В 1875 г. окончил Петербургский технологический институт. С 1876 г. работал на Обуховском заводе под руководством Д. К. Чернова, с 1899 г. — главный металлург завода. Одновременно заведовал кафедрой металлургии Петербургского политехнического института. Создал на Обуховском заводе первую в России металлографическую лабораторию. Написал капитальный научный труд «Микроскопические исследования железа, стали и чугуна», вышедший в 1898 г., — первое систематическое исследование микроструктуры металлов при различных видах механической и тепловой обработки. Под руководством Ржешотарского были разработаны новые технологические процессы, повысившие качества артиллерийских орудий и стальной брони.

Следует сказать о крепкой дружбе, которая связывала А. А. Ржешотарского и его учителя Д. К. Чернова. В своей работе Ржешотарский неизменно следовал учению Чернова о металлах, внес большой вклад в его развитие. В своих трудах Д. К. Чернов нередко ссылается на исследования А. А. Ржешотарского.

4

О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов

1* Эта работа, выполненная Д. К. Черновым во второй половине 1884 г. по просьбе Обуховского завода и доложенная им на заседании Русского технического общества 10 мая 1885 г., явилась важным звеном в развитии теории и практики термической обработки стали и особенно в разработке новых способов производства стальных бронебойных снарядов.

Как известно, в начале 60-х годов прошлого столетия появились и получили быстрое распространение бронированные военно-морские суда. Артиллерия того времени располагала только литыми чугунными снарядами, которые не могли причинить серьезного ущерба стальной броне. В развитых странах немедленно начались работы по созданию стальных бронебойных снарядов. Наибольших успехов в их разработке достигла немецкая фирма Круппа, однако все вопросы, касающиеся производства бронебойных снарядов, держались в строгом секрете.

Один из основоположников мартеновского производства в России инженер А. А. Износков уже в 1872 г. изготовил на Сормовском заводе стальной снаряд, который без повреждения пробил стальную плиту толщиною 11 дюймов. И все же освоение массового производства бронебойных снарядов на русских заводах сильно затянулось. Лишь в конце 70-х годов было налажено изготовление снарядов 9-дюймового калибра. Но за это время прочность корабельной брони значительно возросла и требовались уже снаряды более крупного калибра.

В 1881 г. Главным артиллерийским управлением русской армии были проведены сравнительные испытания 11-дюймовых стальных снарядов, изготовленных на отечественных и зарубежных заводах. Как и следовало ожидать, лучшие результаты показали стальные бронебойные снаряды Круппа. Исследования химического состава крупповских снарядов показали, что они практически не отличаются по составу от снарядов отечественного производства. Было ясно, что высокая прочность этих снарядов объясняется не их химическим составом, а структурой стали, образованной в результате термической обработки. «Главные недостатки наших снарядов, — утверждал Д. К. Чернов в сообщении Русскому техническому обществу 10 мая 1885 г., — заключаются в способах закалки их, а не в составе стали и не в способе выделки их тем или иным путем. . .» [наст. том, с. 77].

В данной работе Д. К. Чернова приводятся результаты его экспериментальных исследований по термической обработке стальных снарядов, глубоко анализируются полученные сведения и предлагаются конкретные способы выделки литых и кованых снарядов, отличающихся высокими бронебойными качествами. Таким образом, Д. К. Чернов практически разрешил задачу большого производственного значения, обогатив мировую науку разработкой новых теоретических и практических воззрений на механизм термической обработки стали, в особенности ее закалки и отпуска.

2* Науглеродить поверхность с целью придания ей большей твердости.

3* Т. е. науглероживанию.

4* Очелками Д. К. Чернов называл смотровые отверстия в печи — «глазки».

5

О влиянии механической и термической обработки на свойства стали

1* Эта статья представляет собою запись лекции, прочитанной Д. К. Черновым в Петербургском институте инженеров путей сообщения 28 января 1886 г. Слушателями лекции были специалисты железнодорожного транспорта, участвующие в испытаниях и приемке продукции металлургических заводов, выпускаемой по заказам Министерства путей сообщения и предназначенной для сооружения рельсового пути, подвижного состава, строительства мостов и других объектов на железных дорогах. Эта лекция была впервые опубликована лишь в 1923 г., после смерти Д. К. Чернова. Она относится к тому времени, когда Чернов служил в Министерстве путей сообщения, где занимал должность главного инспектора отдела испытания и освидетельствования заказов этого министерства, размещенных на металлургических заводах России.

Тексту печатаемой здесь лекции предшествует ее краткая программа, составленная Д. К. Черновым. Эта программа показывает, как тщательно готовился ученый к своим публичным выступлениям, как продуманно составлялся им план последовательного изложения материалов лекции, создававшей у слушателей полную картину тех изменений в структуре и свойствах стали, которые происходят в процессе ее механической (в холодном и горячем состоянии) и термической обработки. Эта лекция была подготовлена к печати профессором А. Л. Бабошиным, одним из учеников и последователей Д. К. Чернова.

Вскоре после смерти Д. К. Чернова Русское металлургическое общество создало специальную комиссию по изучению архива ученого и подготовке к печати неизданных его трудов. А. Л. Бабошин был назначен председателем этой комиссии. Комиссия вела свою работу в двух направлениях. Во-первых, она приняла меры по пополнению архива Чернова за счет материалов, находившихся в различных ведомствах, с которыми была связана работа Дмитрия Константиновича, одновременно выявленные материалы готовились к печати. Во-вторых, комиссия начала подготовку к первым чтениям, посвященным жизни и деятельности Д. К. Чернова, которые состоялись в первую годовщину со дня его смерти, 2 января 1922 г., в Петроградском Доме ученых, а затем, 2 февраля того же года, чтения были повторены в Горном институте. С лекциями выступили члены комиссии профессора А. Л. Бабошин, И. А. Крылов, Г. З. Нессельштраус и В. А. Яковлев.

В 1923 г. Комиссия по изучению архива Д. К. Чернова при Русском металлургическом обществе опубликовала сборник «Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921). Очерки из жизни и деятельности, посмертные произведения и избранная переписка». В сборник вошел ряд неизданных работ ученого, его переписка с видным немецким металловедом Е. Гейном, а также упомянутые лекции о жизни и деятельности Д. К. Чернова, прочитанные в Петроградском Доме ученых 2 января 1922 г.

В Предисловии к названному выше сборнику председатель Комиссии по изучению архива Д. К. Чернова А. Л. Бабошин останавливается на впервые публикуемой в этом сборнике лекции Чернова в Институте инженеров путей сообщения 28 января 1886 г. Эта лекция, пишет А. Л. Бабошин, была «оставлена в виде рукописи. . . Только первые страницы этой рукописи написаны самим Д. К., остальное записано чужой рукой.

Трудно сказать, — продолжает А. Л. Бабошин, — почему эта лекция не была напечатана при жизни Д. К. Возможно потому, что Д. К. считал, что все то, что изложено в этой лекции, имеется в других его опубликованных работах. Помещая эту лекцию в настоящем сборнике, мы счáстливы сознанием, что она будет прочтена русскими читателями. На наш взгляд, лекция эта носит все черты, присущие гению Чернова. В ней очень ярко выявлено влияние обработки на свойства стали и, кроме того, весьма выпукло охарактеризовано явление закалки стали. Лекция потребовала большой редакционной работы» [*Бабошин А. Л*. Предисловие к кн. «Дмитрий Константинович Чернов», 1923, с. 9].

2* Фотографии и рисунки, которыми иллюстрировалась лекция Д. К. Чернова, не сохранились. Для ориентировки читателя в тексте лекции указывается на аналогичные рисунки, помещенные в настоящей книге.

2а* См. табл. I, фиг. 2 на стр. 46.

3* Витворт Дж., английский инженер и предприниматель (1803—1887). Предложил профиль винтовой нарезки, носящей его имя («резьба Витворта»), имел ряд изобретений в измерительной технике. Занимался также конструированием огнестрельного оружия и разработкой методов прессования жидкой стали с целью уплотнения слитка.

4* Фотография не сохранилась.

5* Этот рисунок не сохранился.

6* Д. К. Чернов демонстрировал в этой части лекции таблицу, приведенную им в работе «О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов» (см. статью 4).

7* Юз Д. Э. (1831—1900), английский физик, член Лондонского королевского общества. Осуществил ряд изобретений в области электротехники, в том числе буквопечатающий телеграфный аппарат, угольный микрофон и др. В 1879 г. предложил индукционные весы, о которых Д. К. Чернов говорит в своем докладе.

6

О выгорании каналов в стальных орудиях

1* С докладом на эту тему Д. К. Чернов выступил на заседании Русского металлургического общества 10 мая 1912 г. Сообщение Чернова очень быстро было напечатано в «Журнале Русского металлургического общества» [1912, № 5] и в «Артиллерийском журнале» [1912, № 7]. Это объясняется исключительно важным теоретическим и прикладным значением данной научной работы. Выгорание каналов стальных орудийных стволов при стрельбе являлось основной причиной быстрого выхода артиллерийских систем из строя. Вопрос о повышении стойкости металла, идущего на изготовление орудийных стволов, уже давно волновал ученых-металлургов и артиллеристов. Исследования в этом направлении осуществлялись многими учеными и до Чернова. Однако практически значимых результатов для предотвращения разрушительного действия пороховых газов на стальное орудие так и не удавалось получить. В результате этот вопрос почти не освещался ни в русских, ни в зарубежных научно-технических источниках.

«Во всей мировой литературе, — писал крупный специалист в области артиллерийской техники А. Ф. Головин, — к этому времени была опубликована всего лишь одна серьезная работа о выгорании орудий, проведенная в конце 80-х годов в Англии полковником Мэтландом совместно с химиком Абелем. Однако даже эта единственная работа не могла быть использована в лекциях Чернова в Академии, так как описанные в ней опыты не давали никаких определенных указаний о зависимости стойкости ствольной стали против выгорания ни от химического состава, ни от механических свойств ее.

Было замечено только, что некоторое, очень небольшое влияние оказывают плотность стали и равномерность ее структуры. Общий вывод, к которому пришли иностранные исследователи, сводился лишь к признанию того, что существует какой-то неисследованный, остающийся никому не известным фактор, имеющий преобладающее значение в развитии явления выгорания» [*Головин А. Ф.* Значение трудов Д. К. Чернова в развитии отечественной артиллерийской техники. — В кн. Труды по истории техники, вып. 2, 1953, с. 42].

Д. К. Чернов поставил своей задачей выявление этого «неисследованного фактора». Этой проблемой он занимался много лет; в результате большого числа экспери-

ментов и наблюдений им была создана теория выгорания каналов в стальных орудиях и предложены практические пути к решению проблемы стойкости артиллерийских стволов против разрушений, вызываемых их выгоранием при стрельбе.

Опираясь на тщательно проанализированные фактические данные, Д. К. Чернов убедительно доказал, что причина выгорания каналов стальных орудий заключается в многократном и быстром чередовании высоких нагревов и резких охлаждений тонкого слоя металла внутренней поверхности канала ствола. При этом главная роль в развитии износа артиллерийского орудия принадлежит не химическому действию пороховых газов, а высокой температуре горения пороха и механическому воздействию ведущих частей снаряда, двигающегося в стволе в момент выстрела.

В публикуемой работе Д. К. Чернов приводит аналогичные процессы воздействия на поверхность металла попеременного действия высоких и низких температур в тех случаях, когда металлическая поверхность испытывает значительные давления. В условиях, подобных работе орудийного ствола при выстрелах, находятся штампы, применяемые для горячей штамповки стальных изделий, бойки ковочных молотов и прессов, а также чугунные и стальные валки прокатных станов. Во всех этих процессах, связанных с воздействием высоких температур и давлений, на рабочих поверхностях штампов и валков образуется сетка трещин, которые с течением времени развиваются и при длительной работе выводят инструменты из строя. В наше время эти явления принято называть термической усталостью металла.

Работа Д. К. Чернова «О выгорании каналов в стальных орудиях» сразу же после ее опубликования в отечественных научных журналах была переведена на основные европейские языки и создала выдающемуся русскому металлургу широкую известность в артиллерийских кругах всех стран.

2* Абель Ф. А. (1827—1902), английский химик, автор большого числа работ по технологии производства взрывчатых веществ (пироксилина и др.). Меньшей известностью пользуются его труды по изучению процессов закалки стали и определению состава карбида железа.

3* Робертс-Аустен У. (1843—1902), английский металловед. Внес большой вклад в разработку диаграммы железо—углерод, представив в 1897 г. один из ее первых вариантов. Принципиальная схема этой диаграммы сохранилась до нашего времени. В честь Робертса-Аустена его именем названа одна из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов (твердый раствор углерода в γ-железе)—аустенит.

7

О точке b Чернова

1* Эта статья Д. К. Чернова представляет собою запись его доклада на Втором Всероссийском съезде деятелей по горному делу, металлургии и машиностроению 17 апреля 1913 г. Заседание съезда происходило в актовом зале Петербургского технологического института (ныне Ленинградский технологический институт имени Ленсовета) в присутствии большого числа слушателей. Впервые доклад был опубликован в сборнике «Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921)», вышедшем в 1923 г.

Доклад «О точке *b* Чернова» в какой-то степени следует считать юбилейным: он был произнесен ровно через 45 лет после исторического заседания Русского технического общества, на котором Д. К. Черновым, в то время совсем молодым исследователем, впервые были названы критические температуры (точки Чернова), при которых происходят изменения структуры и фазового состояния стали в результате ее нагрева или охлаждения.

Характерно, что Д. К. Чернов в продолжение всей своей научной деятельности много раз возвращался к вопросу о критических точках, в особенности к точке *b*. Это объясняется тем, что в течение многих лет вокруг точки *b* велись непрерывные дискуссии. Значительная часть металловедов по-разному истолковывала физический смысл этой важнейшей критической точки, характеризующей оптимальную температуру нагрева доэвтектоидной стали перед закалкой, нормализацией или полным отжигом.

Точке *b* были посвящены и последние работы Д. К. Чернова, относящиеся к 1914—1916 гг.

[2]* Обухов Павел Матвеевич (1820—1869), русский металлург. В 1843 г. окончил Петербургский институт корпуса горных инженеров, после этого работал на ряде заводов Урала, с 1854 г. управитель Златоустовской оружейной фабрики. Разработал способ массового производства литой стали в тиглях, положив этим начало производства в России крупных стальных пушек. С 1863 г. руководил строительством сталелитейного завода в Петербурге, названного по его имени Обуховским (ныне завод «Большевик»). В цехах этого завода в 1866 г. началась научная деятельность Д. К. Чернова.

[3]* Сорби Г. К. (1826—1908), английский ученый, член Лондонского королевского общества. Разработал метод микроскопических исследований в петрографии. В 1849 г. предложил изготовлять тонкие шлифы минералов и горных пород для изучения их под микроскопом. В его честь термином сорбит названа одна из структурных составляющих сталей и чугунов — эвтектоидная смесь феррита и цементита.

[4]* Ле Шателье А. Л. (1850—1936), французский физико-химик и металловед, член Парижской Академии наук, с 1927 г. почетный член АН СССР. В 1886—1889 гг. разработал термоэлектрический пирометр для измерения высоких температур, с помощью которого были уточнены температуры фазовых превращений в стали, впервые изученных Д. К. Черновым. А. Ле Шателье экспериментально подтвердил аналогию между растворами и сплавами, на которую Д. К. Чернов указал в 1868 г. В 1897 г. Ле Шателье сконструировал металлографический микроскоп.

[5]* Фигуру II следует повернуть на 90° против движения часовой стрелки.

8

Афоризмы в области металлургии стали

[1]* «Афоризмы в области металлургии стали» явились последними выступлениями Д. К. Чернова на заседаниях Русского металлургического общества. Они были заслушаны на четырех заседаниях: 26 ноября и 11 декабря 1914 г. и продолжены 12 февраля и 14 мая 1915 г. История этих сообщений в кратких словах такова: в июле 1914 г. известный американский металлург, профессор Гарвардского университета А. Совер обратился к видным ученым-металлургам разных стран, в том числе и к Д. К. Чернову, с просьбой ответить на ряд вопросов, касающихся аллотропии железа и закалки стали. (Эти вопросы перечислены в сообщении Д. К. Чернова на заседании РМО 26 ноября 1914 г. [см. наст. том, с. 138]).

«Получив такое приглашение, — говорит Д. К. Чернов в первом сообщении РМО, — уже после объявления войны, когда наши почтовые сношения с внешним миром были сильно расстроены, я счел более удобным и соответствующим положению дела вместо категорических ответов на поставленные вопросы сделать несколько отрывистых сообщений в Русском металлургическом обществе под общим заглавием «Афоризмы в области металлургии стали» с тем, чтобы потом сделать сводку всего сказанного в общей статье, которая в настоящем виде и представляет мой личный взгляд на положение вопроса о тепловой обработке стали в связи с явлениями закалки» [см. наст. том, с. 138]. Однако, к большому сожалению, Чернову не удалось полностью осуществить свой замысел. Затянувшаяся болезнь и вынужденная поездка на лечение не позволили ему полностью подготовить к печати все четыре сообщения РМО; к их обработке он только приступил. Собственноручно Д. К. Черновым (и то не полностью) было написано только Предисловие. Кроме того, ему удалось просмотреть и отредактировать стенограмму первого доклада, на полях которой он сделал многочисленные поправки и дополнения. В исправленном автором виде этот доклад впервые был опубликован в сборнике «Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921)», вышедшем в Петрограде в 1923 г. Три остальных доклада Комиссия по изучению архива Д. К. Чернова нашла возможным опубликовать в указанном издании лишь в тех частях, которые касаются проблемы закалки стали и магнитных свойств железа.

В Предисловии к сборнику «Дмитрий Константинович Чернов» председатель Комиссии по изучению архива Чернова А. Л. Бабошин пишет: «Считая, что закалка стали для сколько-нибудь ясного ее понимания требует установления основных понятий о силах, действующих в природе, и о формах проявления их в том или ином виде превращений

мировой энергии», Д. К. в своих «Афоризмах» большое внимание уделяет общим вопросам мироздания (закону всемирного тяготения, движению комет, вихревому движению), аналогиям из мертвой и живой природы и пр.

Как ни хотелось бы использовать, для полноты картины, и эту часть «Афоризмов», комиссия все же, в полном сознании ответственности перед памятью покойного, не сочла возможным затрагивать в настоящем сборнике этого рода вопросы, тем более, что записаны они в докладах с пропусками, очень спутанно и с ошибками.

Что касается формы изложения «Афоризмов», — продолжает А. Л. Бабошин, — то мы старались сохранить ее по возможности без изменения, такою, как она отражена в докладах: в виде разговорной речи, беседы, а не систематического изложения вопросов.

Вот эти оговорки мы и считаем необходимым сделать: они облегчают нашу ответственность. Только при этих оговорках мы можем питать некоторую надежду, что читатель сможет примириться с тем, что́ мы преподносим ему под именем «Афоризмов из области металлургии стали» [*Бабошин А. Л.* Предисловие к кн. Дмитрий Константинович Чернов (1830—1921), 1923, с. 11].

Как уже сообщалось, архив Д. К. Чернова был утерян во время блокады Ленинграда в годы Великой Отечественной войны, и более подробное воспроизведение стенограммы докладов Чернова на заседаниях РМО в 1914—1915 гг. является невозможным.

2* Кроме Д. К. Чернова, приглашение А. Совера принять участие в ответах на его вопросы получили Е. Гейн, А. Ле Шателье и еще 20 ученых-металловедов.

3* Идея существования эфира как своеобразного вида материальной среды была весьма плодотворной для обоснования некоторых положений материалистической философии и для развития естествознания. Вплоть до начала XX в. она состояла на вооружении философского материализма и естествознания. Однако исследования в области оптических и электромагнитных явлений доказали несостоятельность этой гипотезы.

Современная наука утверждает, что в пространстве наряду с материальными телами существуют физические поля, являющиеся особыми формами материи. В них и протекают тепловые, световые и электромагнитные явления. Такой материальной средой является, например, электромагнитное поле.

4* В трудах Жульена эта, в общем правильная, мысль не получила надлежащего научного обоснования. Созданная им теория закалки стали успеха не имела. Д. К. Чернов впервые удовлетворительно объяснил процесс закалки стали и разработал убедительную схему термических превращений, совершающихся при этом в железоуглеродистых сплавах.

5* В этом месте в оригинале пропуск.

6* Речь идет о письме А. Совера к ученым-металловедам от 27 июня 1914 г. Д. К. Чернов упоминает об этом письме в Предисловии к «Афоризмам».

9

Письмо редактору «Журнала Русского металлургического общества»

1* Разъяснению физического смысла точки *b* посвящено письмо Д. К. Чернова редактору ЖРМО профессору М. А. Павлову, впоследствии академику, датированное 10 ноября 1916 г. Письмо это было написано в Ялте, где в то время находился Чернов. Оно было опубликовано в ЖРМО № 3-4 за 1916 г. В 1917 г., во время своего последнего приезда в Петроград, Д. К. Чернов внес в уже опубликованный текст письма некоторые дополнения, а также ссылки на литературу. Дополненный автором текст «Письма» был напечатан в сборнике «Дмитрий Константинович Чернов (1839—1921)». Этот уточненный вариант «Письма» воспроизводится и в настоящем издании.

Непосредственным поводом для составления «Письма редактору ЖРМО» явилось ознакомление Д. К. Чернова с первой книгой ЖРМО за 1916 г., в которой были напечатаны статья А. Л. Бабошина «Еще о точке *b* Чернова», сообщение ученика Чернова, металловеда П. Я. Сальдау «О новой разграничительной линии, проходящей в области аустенита при 980°, и точке *b* Чернова», а также материалы ряда других видных рус-

ских металловедов, развернувших полемику вокруг точки *b*. Заключая свою заметку, Сальдау писал: «Ответ на вопрос, что же такое точка *b* Чернова, может дать лишь сам Дмитрий Константинович Чернов, и нам, начинающим металлургам, остается лишь высказать самое горячее пожелание, чтобы Дмитрий Константинович еще раз высказался бы в печати по данному вопросу и положил бы конец той путанице понятия, которая нарастает вокруг точки *b* Чернова» [*Сальдау П. Я.* — ЖРМО, 1916, № 1-2]. Эти заключительные слова заметки Сальдау «вынуждают меня,— пишет Д. К. Чернов,— взяться за перо».

В течение нескольких десятилетий, прошедших после открытия Д. К. Черновым критических точек, названных его именем, многие отечественные и зарубежные ученые продолжали исследования в области полиморфизма железоуглеродистых сплавов. Всем этим специалистам была хорошо известна основополагающая работа Чернова, опубликованная в 1868 г. в России, а в 1870-е годы — также в Англии, Франции и Германии. Разработкой вопросов полиморфизма железа много лет занимался известный французский металлург и металловед Ф. Осмонд (1849—1912), критическому разбору выводов которого посвящена значительная часть «Письма» Чернова редактору ЖРМО.

Флорис Осмонд, после окончания Училища гражданских инженеров в Париже, работал на военных заводах Крезо. С большим интересом он познакомился с работами Д. К. Чернова, осуществленными на Обуховском заводе. Продолжая затем свою научную деятельность в лабораториях Сорбонны, Осмонд повторил исследования Чернова, применив для точного определения температуры только что созданный в то время термоэлектрический пирометр Ле Шателье. Исследуя процесс охлаждения низкоуглеродистой стали, содержащей 0,16% C, Осмонд выявил в интервалах температур между 650 и 900 °C три термических эффекта. Было обнаружено также некоторое расхождение критических точек в условиях нагревания и охлаждения металла.

Исходя из первой критической точки Чернова — точки *a* — Осмонд дал всем исследованным им точкам одинаковые обозначения с соответствующими индексами a_1, a_2, a_3. Одновременно Осмонд предложил ввести дополнительные индексы к этим точкам: *r* при охлаждении (от французского слова refroidissement — охлаждение) и *c* при нагревании (chauffage — нагревание). В дальнейшем, в целях удобства печати, маленькая буква *a* была заменена прописной буквой *A*. Точка *a* Чернова по своему физическому значению соответствует принятому теперь обозначению A_1. В схеме Чернова совсем не было точки A_2, обозначающей изменение магнитных свойств железа. В «Письме» редактору ЖРМО Чернов справедливо критикует Осмонда за то, что он смешал понятия аллотропического и магнитного превращений железа в точке A_2. Это привело к ошибочному представлению о характере и физической природе происходящего в точке A_2 термического процесса.

Д. К. Чернов считал, что «выбранное Осмондом общее родовое обозначение для первых трех критических точек. . . не вполне удачно и может быть терпимо ради давности и большого распространения этого обозначения; главным же образом ради вечной памяти о великом, неутомимом и плодотворном исследователе, положившем прочный фундамент для современной науки о металлах» [см. наст. том, с. 165—166].

«По современным представлениям,— пишет В. Д. Садовский,— точка *a* (обозначаемая теперь A_1) соответствует температуре эвтектоидного превращения в стали. Точка *b* обычно отождествляется с температурой, обозначаемой теперь A_3, при которой оканчивается растворение феррита в аустените при нагревании стали. Согласно Чернову, сталь, нагретая выше точки *b*, приобретает после охлаждения мелкозернистую структуру, чем и определяется значение этой точки в технологии термической обработки стали. Поскольку в ряде случаев нагрев выше точки A_3 не сопровождается измельчением кристаллической структуры, безоговорочное отождествление точек *b* и A_3 является, по-видимому, неправильным» [*Садовский В. Д.* Чернова точки.— БСЭ. Изд. 3-е, т. 29, с. 90. Более подробно см. в кн.: *В. Д. Садовский*. Структурная наследственность в стали. М., 1973, с. 164—170].

Для исследователей истории науки особый интерес представляют заключительные страницы «Письма» Чернова редактору ЖРМО. Сопоставляя набросок своей диаграммы превращений в железе и стали, сделанный на основании знаменитого доклада Русскому техническому обществу в 1868 г., с построенной значительно позже Робертс-Аустеном диаграммой состояния железо—углерод, Д. К. Чернов подчеркивает свой приоритет

в создании основ этой замечательной диаграммы, дальнейшей разработкой которой занимались металловеды многих стран.

²* Д. К. Чернов ссылается здесь на свои труды, опубликованные в «Журнале Русского металлургического общества» [1915, № 1; см. наст. том, с. 42].

10

Из переписки с профессором Е. Гейном

¹* Д. К. Чернов пользовался большим уважением и авторитетом не только в научных кругах отечественных ученых, но и среди зарубежных металлургов и металловедов. С многими из них он был знаком лично и много лет поддерживал научные связи путем переписки. Среди таких иностранных ученых следует назвать профессоров Е. Гейна (Германия), Г. Хоу и А. Совера (США), А. Портевена (Франция) и др. Личные контакты Чернова с зарубежными металлургами начались в 1878—1879 гг., во время его пребывания на Международной выставке в Париже. Эти знакомства расширились в 1900 г., когда Д. К. Чернов, вместе со своей семьей, вновь посетил Парижскую выставку, а вслед за этим принял участие в Металлургическом съезде в Дюссельдорфе.

По свидетельству А. Л. Бабошина, председателя созданной в 1921 г. комиссии по изучению архива Д. К. Чернова, в архиве ученого имелась обширная переписка, в том числе и с иностранными учеными. Однако опубликовано было только несколько писем Чернова немецкому металловеду Гейну и его ответы, напечатанные в этом издании.

Во время Великой Отечественной войны архив Д. К. Чернова находился у его сына, проживавшего в Ленинграде и умершего там в 1942 г., в период блокады. По сведениям сотрудника Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина В. И. Ковалева, занимавшегося розысками архива Чернова, все его бумаги, по-видимому, погибли в годы блокады Ленинграда [Труды Ленинградского политехн. ин-та им. М. И. Калинина, 1959, № 207, с. 146].

В конце 1950-х годов в Саратове был обнаружен большой портфель с документами Д. К. Чернова. Среди многих личных документов, например метрических свидетельств и аттестатов зрелости детей Чернова, его переписки по поводу приобретения земельного участка для постройки дома и других материалов, сохранились также письма А. А. Ржешотарского и других русских и зарубежных ученых и черновики ответов Чернова на некоторые из них. Этот портфель Чернова в годы первой мировой войны находился на хранении в одном из Петроградских банков и, по-видимому, в 1916 г. был эвакуирован в Саратов. В настоящее время эти документы хранятся в Центральном государственном историческом архиве Ленинграда (ЦГИАЛ), фонд № 1078. Ряд этих документов уже опубликован в «Вопросах истории естествознания и техники» [М., 1962, № 12] и других изданиях.

Переписка Д. К. Чернова с немецким металловедом Е. Гейном, помещаемая в настоящей книге, относится к 1902—1903 гг. Впервые она была напечатана в сборнике «Дмитрий Константинович Чернов» [Пг., 1923, с. 169—174]. Письма к профессору Е. Гейну характеризуют Чернова как человека, высоко ценившего научные связи с иностранными коллегами, стремившегося популяризовать не только свои работы, но и научные труды своих сотрудников и последователей. Эта переписка свидетельствует о том, как энергично отстаивал Д. К. Чернов приоритет отечественной науки, часто замалчиваемый представителями зарубежной науки.

²* Мартенс А., немецкий металловед. Его именем назван пересыщенный раствор Fe—C в стали, получающийся при закалке из аустенита,— мартенсит.

³* Совер А., американский металлург и металловед, профессор Гарвардского университета. Автор многих трудов по металлографии и термической обработке.

⁴* Ледебур А., немецкий металлург, профессор Фрейбергской горной академии. Составил несколько учебников по металлургическому производству. Его именем названа одна из основных структурных составляющих железоуглеродистых сплавов. Для чугуна — это эвтектическая смесь аустенита и цементита. В сталях ледебурит состоит из аустенита и карбидов, образуется при высоком содержании углерода и легирующих элементов.

II. МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

11

Материалы для изучения бессемерования

1* Публикуемая статья является записью сообщений, сделанных Д. К. Черновым на заседаниях Русского технического общества 24 февраля 1876 г. и 12 марта 1877 г. В этих сообщениях содержится подробное описание существа бессемеровского процесса, который с конца 1850-х годов начал широко внедряться в технологию производства литой стали. Д. К. Чернов, задолго до своих сообщений по вопросам бессемерования, проявил большой интерес к этому высокопроизводительному и относительно дешевому способу переработки жидкого чугуна. Еще работая в Технологическом институте, он внимательно следил по иностранным журналам за развитием нового процесса. В 1865 г. Чернов публикует реферативный обзор, посвященный особенностям производства литой стали в бессемеровских конвертерах, анализирует существенные трудности, связанные с внедрением нового процесса, одновременно подчеркивая большую роль, которую призвано сыграть бессемерование в сталелитейном производстве [*Чернов Д. К.* Усовершенствования в бессемеровском способе приготовления стали и железа.— Журн. мануфактур и торговли, 1865, № 5, с. 217—232].

В первые годы работы Д. К. Чернова на Обуховском сталелитейном заводе здесь начала создаваться бессемеровская мастерская. Ее строительство было завершено в 1872 г., тогда же Чернов начал свои многочисленные эксперименты по выплавке стали в конвертерах и получению из нее слитков и фасонных изделий. Экспериментальные данные, полученные Черновым, подверглись тщательному теоретическому анализу, в результате которого были заложены научные основы бессемеровского процесса, блестяще изложенные Черновым в исторических сообщениях Русскому техническому обществу в 1876—1877 гг.

Используя данные о теплотах образования окислов элементов, входящих в состав чугуна и окисляющихся при продувке жидкого металла воздухом, Д. К. Чернов показал, что основным источником тепла при бессемеровании служит экзотермическая реакция окисления кремния. Это обстоятельство убедительно доказало, почему чугуны с малым содержанием кремния оказались непригодными для переработки в сталь методами прямого бессемерования. На основании расчетов Чернов сделал вывод о возможности переработки в конвертерах и низкокремнистых чугунов, предварительно подогретых в вагранках или других печах. Этот теоретический вывод ученого был практически подтвержден им в бессемеровской мастерской Обуховского завода. В 1876 г. русский металлург К. П. Поленов на Нижнесалдинском заводе, независимо от опытов Д. К. Чернова, перегревал малокремнистый доменный чугун в отражательной печи и после этого перерабатывал его в конвертере. Так, двумя отечественными металлургами был открыт русский способ бессемерования, значительно расширивший производственные возможности конвертерного процесса.

Основная трудность в ведении бессемеровского процесса состояла в точном определении времени окончания продувки металла. Вследствие высокой скорости выгорания примесей чугуна долгое время не удавалось во всех случаях получить заданный химический состав выплавляемой стали. «Счастливая мысль — употребить спектроскоп для определения окончания бессемеровского процесса,— говорил Д. К. Чернов в своем сообщении РТО,— принесла весьма много пользы в этом отношении, хотя спектроскоп сам по себе не указывает с точностью конца операции, однако он избавляет от необходимости запасаться большою практическою опытностью в наблюдении над пламенем и весьма значительно суживает пределы ошибок, в которые впадают иногда опытные мастера при наблюдении пламени простым глазом» [наст. том, с. 181—182]. Такой вывод ученому помогли сделать более чем 500 лично выполненных спектроскопических наблюдений хода бессемеровского процесса.

В «Материалах для изучения бессемерования» Д. К. Чернов подчеркнул большие возможности, открываемые «прибавлением кислорода к вдуваемому в реторту воздуху». В промышленной практике это предложение было реализовано лишь в середине XX в., когда были созданы высокопроизводительные установки для получения дешевого

кислорода из воздуха. В наши дни кислородно-конвертерный процесс стал важнейшим методом получения литой стали из чугуна.

2* В настоящее время нормальная температура жидкого чугуна принимается примерно равной 1300 °С.

3* Сейчас температуру обычной стали при выпуске принято считать около 1600 °С.

4* Оригинал изображения бессемеровского спектра, написанный Д. К. Черновым масляными красками, впоследствии был утерян, о чем Д. К. Чернов упоминает в примечании к спектру, относящемуся к 1915 г.

12

Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок

1* Сообщение на эту тему было сделано Д. К. Черновым на заседании Русского технического общества 2 декабря 1878 г. Опубликованное в первой книге «Журнала Русского технического общества» за 1879 г. сообщение Чернова сразу же получило широкий отклик среди металлургов. Год спустя эта работа была полностью опубликована на английском языке в трудах английского Института инженеров-металлургов.

В своем историческом сообщении Д. К. Чернов изложил стройную теорию кристаллизации стального слитка. Он в мельчайших деталях исследовал процесс зарождения и роста кристаллов при затвердевании жидкого металла, дал схему структурных зон стального слитка, развил теорию последовательной кристаллизации, всесторонне изучил дефекты литой стали и указал эффективные меры борьбы с ними. В этой работе русский металлург научно обосновал значение полноты раскисления стали при ее выплавке, целесообразность применения комплексных раскислителей, рекомендовал систему мероприятий, обеспечивающих получение плотного безпузыристого металла.

Трудами Д. К. Чернова, пишет академик А. М. Самарин, «заложены основы современного учения о кристаллизации стали. . . Он создал теорию кристаллизации стали, введя такие понятия, как центры кристаллизации, твердые кристаллические растворы, волновой характер роста кристаллов: им проанализирован механизм образования кристаллов — дендритов. Все положения Чернова, относящиеся к теории кристаллизации стали, остаются незыблемыми» [*Самарин А. М.* Д. К. Чернов и современное сталеварение.— Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 79].

2* По существовавшим в 70-х годах прошлого века представлениям, кристаллические вещества обладали постоянным химическим составом. В настоящей работе, относящейся к 1878 г., Д. К. Чернов впервые отметил непостоянство состава кристаллов стали, выделяющихся из расплава. Таким образом, русский ученый задолго до публикации работ голландского химика Я. Вант-Гоффа указал на существование кристаллических твердых растворов переменного состава.

3* Вопрос о современных ковочных орудиях (молотах и прессах) рассмотрен в примечании 21 к курсу Д. К. Чернова «Сталелитейное дело».

13

О прямом получении железа и стали в доменной печи

1* С этим докладом Д. К. Чернов выступил на заседании Русского технического общества 20 января 1899 г. Цель доклада состояла в том, чтобы привлечь внимание металлургов к проблеме непосредственного получения литой стали из железной руды, минуя длительный и дорогостоящий двухстадийный процесс получения стали по схеме доменная печь—сталеплавильный агрегат. Еще в январе 1898 г. Д. К. Чернову был выдан «патент на привилегию» на газовую доменную печь для прямого получения железа, стали или чугуна. Несмотря на очевидную экономическую выгоду нового процесса, Чернову так и не удалось добиться даже постановки опытов в производственных условиях. В 1914 г., когда данная работа готовилась к новому изданию трудов Д. К. Чернова в связи с его 75-летием, он снабдил ее следующим примечанием: «Вследствие обычной косности наших частных заводов я обратился в Министерство торговли и промышленности в надежде получить возможность осуществить предлагаемый спо-

соб, в упрощенном виде, на одном из казенных горных заводов. Однако, несмотря на двукратно выраженное тогдашним министром (В. И. Тимирязевым) желание помочь производству такого опыта, вопрос этот встретил неодолимые препятствия среди шкафов и коридоров Министерства» [наст. том, с. 253].

В последующие годы проблемой прямого получения стали из железной руды занимались многие отечественные (А. А. Байков, И. П. Бардин и др.) и зарубежные ученые. Идеи Чернова получили полное признание научной и инженерно-технической общественности. В послевоенные годы соответствующие исследования развернулись не только в лабораторных, но и в производственных условиях как в СССР, так и за рубежом. В настоящее время известны десятки различных способов прямого получения стали из железных руд. Для этого используются химические, электрохимические и химико-термические процессы. Они позволяют получать сталь в виде губки, крицы или жидкого металла, нуждающегося в дальнейшей обработке. Для осуществления таких металлургических процессов не требуется дефицитный и дорогостоящий металлургический кокс, а получаемая в конечном счете сталь отличается весьма высокой чистотой. Однако внедоменные способы получения металла не получили еще широкого промышленного распространения. Работающие в ряде стран мира небольшие промышленные и полупромышленные агрегаты позволяют выразить уверенность, что в недалеком будущем на основании полученного опыта процессы непосредственного получения стали из руд получат более широкое развитие.

2* Упомянутые в этом месте доклада расчеты, по-видимому, не были напечатаны.

14

О кристаллах алмаза и карборунда в стали

1* Так называлось сообщение, сделанное Д. К. Черновым 15 марта 1907 г. на объединенном заседании химического отдела и металлургической комиссии Русского технического общества. Чернов начал работать над этой темой ровно за 40 лет до этого сообщения, т. е. в 1867 г., после того как он получил из Парижа хороший по тем временам микроскоп и принялся с его помощью исследовать изломы литых стальных болванок. Уже тогда он обнаружил на внутренних поверхностях усадочных раковин весьма твердые неметаллические включения кристаллического строения, имеющие форму тонких шестиугольных пластинок. Много лет спустя, в 1900 г., Чернов направил эти кристаллики известному французскому металловеду Флорису Осмонду для всестороннего исследования. В публикуемом сообщении Д. К. Чернова приводятся выдержки из писем Осмонда, относящихся к 1900—1902 гг., касающиеся химического состава упомянутых кристалликов. Оказалось, что они представляют собой не алмаз, а кристаллический карборунд — соединение кремния с углеродом. Таким образом, Чернов категорически отверг широко распространенное в то время среди металловедов убеждение о выделении в усадочных пустотах кристалликов свободного углерода в виде алмаза. Свое сообщение он закончил утверждением, что встречающийся в природе алмаз не огненного (магматического) происхождения, а «представляет скорее продукт медленной и сравнительно холодной реакции в горных породах, может быть даже при участии водных соединений».

2* В середине 50-х годов XX в. было освоено производство синтетических (искусственных) алмазов. Их кристаллическая структура и основной химический состав аналогичны природному алмазу. Для получения искусственных алмазов используются высокие давления (в сотни и тысячи *тс*), развиваемые мощными гидравлическими прессами. Варьирование условий синтеза позволяет получать кристаллы разных размеров с заданными механическими свойствами. Искусственные алмазы широко используются теперь в качестве абразивного материала, а также для производства бурового инструмента.

III. «СТАЛЕЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО»

15

1* Курс лекций по сталелитейному делу в течение четверти века читался профессором Д. К. Черновым слушателям Михайловской артиллерийской академии в Петербурге. Дважды (в 1898 и 1906 гг.) этот курс выходил в литографированном издании незначительным тиражом и в настоящее время, в полном виде, по-видимому, не сохранился. В данной книге воспроизведен текст лекций по курсу «Сталелитейное дело», напечатанный в сборнике «Д. К. Чернов и наука о металлах», вышедшем под редакцией академика Н. Т. Гудцова в 1950 г.

В Михайловской артиллерийской академии готовились специалисты не только для строевой службы в войсковых частях. Значительная часть ее выпускников направлялась на военные заводы, где они непосредственно занимались производством вооружения или руководили его приемкой. Для подготовки специалистов именно этого профиля в первую очередь предназначались лекции по сталелитейному делу.

Курс лекций Д. К. Чернов, учитывая специфику учебного заведения, в котором он читался, закономерно разделял на три части. Первая часть, составляющая более половины всего объема курса, знакомит слушателей с вопросами общего и специального металловедения. Она посвящена анализу химического состава, структуре и свойствам стали, влиянию отдельных химических элементов, а также тепловой и механической обработки на структуру металла и его свойства. Во второй части содержится описание технологических процессов получения стали, характерных для рассматриваемого периода (последние десятилетия XIX в.),— тигельного, бессемеровского, мартеновского. Здесь же рассмотрены процессы разливки стали и ее кристаллизации при затвердевании, рассказано о строении стального слитка. Третья часть курса посвящена производству артиллерийских орудий, броневых плит и бронебойных снарядов. В этой части рассматриваются специальные технические требования к орудийной стали, а также ее свойства, анализируются причины выгорания каналов орудийных стволов и преждевременного износа штампов.

Курс «Сталелитейное дело» представляет большой интерес и как образец высокого педагогического мастерства Д. К. Чернова, его умения предельно ясно, в сжатой форме, донести слушателям основные вопросы теории и практики металлургического производства.

Лекции Д. К. Чернова являются важным дополнением к его трудам в области металловедения и металлургии. Они содержат все новое, что было достигнуто наукой о металлах к началу нынешнего столетия. Не случайно в тексте лекций неоднократно употребляются выражения: «в настоящее время», «недавно», «ныне», «теперь» и т. д. Естественно, что все эти характеристики времени относятся к моменту чтения лекций, т. е. к последним годам XIX в. За прошедшие после этого 85 лет в науке о металлах и практике их производства произошли значительные изменения. Появились новые сплавы, разработаны новые способы их тепловой и механической обработки. В наше время более высокими и более жесткими стали требования к качеству металлических сплавов, которые работают теперь в условиях более высоких давлений и температур. Однако теоретические и технологические основы металловедения и металлургии, изложенные Д. К. Черновым на рубеже XIX—XX вв., в общем остались незыблемыми и в наше время.

2* В данном случае речь идет не о химическом соединении железа с углеродом, а об их сплавах переменного состава.

3* Более подробно об исследованиях французского металловеда Ф. Осмонда см. в работах Д. К. Чернова «О точке *b* Чернова» и «Письмо редактору „Журнала Русского металлургического общества“», помещенных в настоящем издании [статьи 7 и 9], а также в примечаниях к этим работам.

4* Точка *d* Чернова соответствует температуре, до которой нужно быстро охладить сталь, чтобы получить ее полную закалку. Эта точка известна теперь как температура мартенситного превращения при закалке стали. Она соответствует примерно 200 °C и зависит от содержания углерода в стали. Более подробно об этом см. в статье

Д. А. Прокошкина «Современное развитие учения Д. К. Чернова о закалке стали» [Изв. АН СССР. Металлы, 1969, № 1, с. 14—30].

5* Результаты упомянутых Д. К. Черновым опытов Балля не подтвердились. Полная закалка стали осуществляется путем ее нагревания до температуры, соответствующей ее полному переходу в аустенитное состояние (выше линии GSE по диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов), и последующего быстрого охлаждения. Для низкоуглеродистых сталей (до 0,2% углерода) температура завершения образования аустенита составляет около 900 °C. По-видимому, это обстоятельство послужило Баллю основанием сделать вывод о закалке железа (фактически низкоуглеродистой стали) после быстрого охлаждения этого металла, нагретого до высокой температуры.

6* Процессы при отпуске закалинной стали позднее были подробно изучены школой академика Г. В. Курдюмова и рядом зарубежных ученых.

7* Курс лекций Д. К. Чернова «Сталелитейное дело» опубликован в 1898 г. К этому времени и относится примечание 18. В последующие годы представления о процессах при закалке и структуре закаленной стали продолжали оставаться весьма разноречивыми. Это показали результаты опроса 23 ученых, проведенного американским металловедом А. Совером в 1914 г. Одни ученые объясняли высокую твердость закаленной стали напряжениями, возникающими при охлаждении; по мнению других ученых, твердость закаленной стали определялась образованием гетерофазной дисперсной смеси и т. п. В наши дни наиболее распространено объяснение высокой твердости закаленной стали образованием пересыщенного твердого раствора углерода в α-железе, что доказано многочисленными рентгеноструктурными исследованиями.

8* В настоящее время снижение пластичности низкоуглеродистой стали, наблюдаемое при деформации в указанном интервале температур (соответствующем синему цвету побежалости), принято называть синеломкостью.

9* О магнитных весах английского физика Д. Э. Юза см. в лекции Д. К. Чернова «О влиянии механической и термической обработки на свойства стали» [наст. том, статья 5].

10* По современной терминологии — предел текучести.

11* Влияние азота на увеличение прочности стали при цементировании, отмеченное впервые Д. К. Черновым, было впоследствии изучено академиком Н. П. Чижевским. Его работы легли в основу широко применяемого теперь метода поверхностного азотирования стали, придающего ей высокую твердость без закалки.

12* Более подробно сущность бессемеровского процесса и описание устройства реторт (конвертеров) изложено в работе Д. К. Чернова «Материалы для изучения бессемерования», помещенной в настоящем издании [статья 11].

13* Замечание Д. К. Чернова о применении малых бессемеровских конвертеров, емкостью 0,5—1,0 *т* металла, относится к последним десятилетиям прошлого века. Сейчас такие конвертеры не используются даже в лабораторной практике. Напротив, все более широкое распространение получают конвертеры большой емкости — по 300—400 *т* металла.

14* Ферромарганец — по современной терминологии.

15* Речь идет о 30-х годах XIX в., когда выдающийся русский металлург П. П. Аносов впервые ввел на Златоустовском заводе комбинированный процесс плавки и цементования стали в тиглях.

16* Д. К. Чернов внес большой вклад в теорию и практику производства булатной стали. Уже в своем первом труде «Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого. . .», относящемся к 1868 г., Чернов, ссылаясь на исследования своего предшественника, русского металлурга П. П. Аносова, указывал, что загадка булата «разрешается чистотой стали и ему (Аносову), как известно, удалось приготовить самые высокие сорта восточного булата» (см. с. 30 настоящего издания). Результаты многолетних опытов Аносова по получению литой булатной стали были обобщены им в классическом труде «О булатах», вышедшем в 1841 г. и вскоре переведенном на основные европейские языки.

Продолжая исследования Аносова, Чернов отмечал, что при кристаллизации булатной стали образуются крупные дендриты, содержащие меньше углерода, чем

металл, заполняющий пространство между дендритами. В результате ковки происходит сложное переплетение деформированных дендритов, что обеспечивает «узорчатую» макроструктуру стали, характерную для булата. «При закалке,— говорит Чернов в лекциях по „Сталелитейному делу“,— более твердое вещество (т. е. более обогащенное углеродом.— *А. Ф.*) сильно закаливается, а другое вещество (содержащее меньше углерода.— *А. Ф.*) остается слабо закаленным; но так как оба вещества в тонких слоях и фибрах тесно перевиты одно с другим, то получается материал, обладающий одновременно и большой твердостью, и большой вязкостью» (с. 328). Этим Д. К. Чернов объясняет высокое качество булатной стали.

В последующем развитие идеи Д. К. Чернова о конструктивном упрочнении стали путем создания макроструктуры, обеспечивающей сочетания высокой твердости и вязкости, привело к созданию современных композиционных материалов.

17* [Наст. том, статья 12].

18* В лекции Д. К. Чернова допущена неточность. Французский металлург Пьер Мартен предложил новый способ получения литой стали в регенеративной пламенной печи в 1864 г.

19* Д. К. Чернов с большим уважением относился к трудам основоположников науки о металлах. В своих работах он неоднократно ссылался на труды по металлургии известного французского ученого Рене Реомюра (1683—1757). Многолетние экспериментальные исследования в области производства и переработки чугуна, железа и стали Реомюр описал в книге «L'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoncir le fer fondu» («Искусство обращать ковкое железо в сталь и искусство отжигать чугун»), изданной в Париже в 1722 г. Книга Реомюра является первой попыткой синтезировать теорию и эксперимент, научно обобщить все то, чем располагала в то время практика производства металла. Эту книгу и имел в виду Д. К. Чернов, рассказывая в своих лекциях о трудах Р. Реомюра в области металлургии.

20* Д. К. Чернов предвидел большое значение ковкого чугуна для современной машиностроительной промышленности. В настоящее время ковкий чугун широко применяется в автомобилестроении и тракторостроении, при производстве сельскохозяйственных машин, успешно заменяя более дорогую литую и кованую сталь. (Подробнее о производстве и свойствах ковкого чугуна см. в книгах: *Гиршович Н. Г.* Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.; Л., 1966; *Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н.* Основы металлографии чугуна. М.: 1969).

21* В этой части лекционного курса Д. К. Чернов подробно останавливается на машинах-орудиях, которые применялись на рубеже XIX—XX вв. для ковки тяжелых стальных слитков (болванок, по выражению Д. К. Чернова). Главными орудиями ковки того времени были паровые молота, действующие ударом. Однако все большее применение в производственной практике находили ковочные пресса (называемые Черновым жомами), которые деформируют металл плавным, сравнительно медленным обжатием.

Д. К. Чернов говорит о молотах с весом «бьющей части» 25—35 *т* как о заурядных механизмах любого крупного сталелитейного завода, называя одновременно уникальные молота с весом падающих частей 80—125 *т*. В наше время технические средства ковочного производства резко изменились. Тяжелые молота начала XX в. практически уже не применяются вследствие большой трудности работы на них, а также разрушающего влияния ударной волны большой силы, которое испытывают сооружения, расположенные иногда на значительном расстоянии от молота. Масса падающих частей современных молотов, применяемых, как правило, для штамповки, обычно не превышает 5—6 *т*, лишь в редких случаях она достигает 30 *т*. Ковка тяжелых стальных слитков осуществляется с помощью мощных гидравлических прессов, самые крупные из которых развивают усилие до 75 тыс. *тс*.

22* Напоминаем читателям, что курс лекций Д. К. Чернова напечатан в 1898 г., следовательно, все рассмотренные в нем процессы относятся к концу прошлого века.

23* Этот снаряд был изготовлен при непосредственном участии Д. К. Чернова, который в то время (1884—1885 гг.) являлся консультантом Обуховского завода. Его исследования, относящиеся к этому периоду, изложены в сообщении Русскому техническому обществу 10 мая 1885 г. [наст. том, с. 70].

[24]* Впервые высокопроизводительный способ изготовления броневых плит на прокатных станах с последующим упрочнением их поверхности химико-термической обработкой (цементацией) был предложен в 1859 г. русским изобретателем-металлургом В. С. Пятовым (1823 или 1824—1892). Прокатка судовой брони в России была введена в 1863 г. на Ижорском заводе. В 1898—1911 гг. высококачественная корабельная броня изготовлялась на Обуховском заводе.

[25]* В настоящее время для броневой защиты военных объектов применяется легированная сталь (прокатанная, кованая или литая), прошедшая термическую или химико-термическую обработку для придания твердости, вязкости и других необходимых свойств. В качестве легирующих элементов используются главным образом хром, никель, ванадий, молибден, марганец, кремний.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ *

Абель Ф. А. (Abel F. A.) 84, 91, 92, 120, 278
Адамсон (Adamson) 120
Андерсон У. (Anderson W.) 45
Андреев Е. Н. 59
Аносов П. П. 30, 32, 324—328
Армстронг (Armstrong) 375
Арнольд Д. (Arnold J.) 120

Бабошин А. Л. 155
Байков А. А. 160
Балль (Bolleu) 22, 23, 278
Барба 299—300
Баррет У. (Barret W.) 286
Барюс 275, 280
Бауерман (Bauerman) 120
Баушингер 294, 296, 298, 302, 304
Бек-Гергардт В. Н. 61, 64, 67
Беккерель А. А. (Becquerel A. A.) 135, 156
Бендер А. 286
Берджес (Burgess) 162, 164
Бессемер Г. (Bessemer H.) 120, 172, 201, 317, 319
Био Ж. Б. (Biot J. B.) 291
Боман Л. (Boman L.) 32, 197
Браунс Р. 59, 162
Брамвелл (Bramyell) 120
Брунтон (Brunton) 156
Буи 31
Бунзен Р. В. (Bunsen R. V.) 182
Буссенго 31

Ватт 183
Веддинг Г. (Wedding H.) 178, 179, 183, 190, 249
Верт Д. (Werth J.) 157, 282
Виборг Д. (Wiborgh J.) 247, 249
Виккерс (Wickers) 120
Витворт Д. (Whitworth J.) 104, 105, 228, 233, 344, 358

Гаге Л. (Gages L.) 162
Гадолин А. В. 56, 59, 119, 136, 287
Гадфильд 147
Гартнак 254
Гартунг 293
Гаусман 222
Гаутер Ф. (Gautier F.) 180
Гейн Е. (Heyn E.) 152, 164, 166—171
Гейслер 147
Годкинсон 68
Гриффитт 320
Грюнер 249
Густелев 196

Дальмейер 61
Д'Арсонваль Ж. А. (D'Arsonval J. A) 294
Девиль 188
Депре М. (Deprez M.) 294
Джонс 344, 347
Диер (Dyer) 120
Дэви 358

Жанойе Ж. (Janoyer J.) 196
Жордан (Jordan) 187
Жюльен М. (Jullien M.) 33, 84, 149, 157

Износков А. А. 77

Калакуцкий Н. В. 9—11, 15, 18, 21, 23, 25, 26, 28, 29, 36, 37, 56, 219, 329, 350
Кармарш 84
Карон Г. (Caron H.) 21, 22, 31, 84, 86, 87, 89, 276, 281, 283
Карстен К. (Karsten C.) 84
Керпели (Kerpely) 179, 190
Кесслер 179

* Указатель не распространяется на биографический очерк и примечания.

Кирхгоф Г. Р. (Kirchhoff G. R.) 182
Кноп (Knop) 218
Конди 353
Котляров А. А. 184, 185
Кросланд (Crosland) 120
Кроу (Crowe) 162, 164
Купельвизер 178, 187, 249

Лавров А. С. 9, 10, 12, 14, 20—24, 26, 29, 36, 37, 56, 219, 329, 350
Левинсон-Лессинг 59
Ледебур А. (Ledebour A.) 168, 169, 278, 334
Леже М. (Legeur M.) 65, 66
Леманн 58
Ле Шателье А. Л. (Le Chatelier A. L.) 135, 146, 150, 156, 157, 160, 279, 293
Ллплегг 183
Лундышев А. П. 181
Людвиг А. 261, 262
Люрманн Ф. (Lurmann F.) 248

Майер 228
Макаров С. О. 381
Маллет А. (Mallet A.) 21
Маннесманн Р. (Mannesmann R.) 160
Маркгам А. (Markham A.) 120
Мартен П. (Martin P.) 229, 330, 331
Мартенс А. (Martens A.) 167—170
Мартин Е. (Martin E.) 120
Маршан 31
Мезюре 291, 301
Менделеев Д. И. 186
Миллер (Miller) 347
Моассан М. (Moassan M.) 259, 260
Морисон 353
Мэйтланд Е. (Maitland E.) 120, 351

Несмит Д. (Nasmyth J.) 353
Николь 291, 301
Норденфельд (Nordenfeld) 120
Нуэль 291, 301

Обергейзер 255
Обухов П. М. 133, 322
Окерман Р. 84, 187, 188, 190, 249
Осмонд Ф. (Osmond F.) 85, 120, 136, 137, 139, 143, 146, 149, 150, 152, 156—158, 160—167, 169, 257, 276, 278, 279, 282

Перно 229
Перси Д. (Percy J.) 32, 120, 147
Пионшон Ж. (Pionchon J.) 279
Посников 338
Пулье 157
Пурсель 230, 347

Реомюр Р. (Reaumur R.) 84, 211, 333
Ржешотарский А. А. 67, 167, 340
Ридсдаль (Ridsdale) 169—171
Ринман (Rinman A.) 84, 188
Риш 84
Робер 320
Робертс-Аустен У. (Roberts-Austen W.) 120, 153, 278
Розенбом Б. (Rooseboom B.) 136, 146
Роммельсберг 31
Роско 183, 184
Рубин 167
Румкорф (Rumkorf) 135, 156

Савченок 153
Сальдау П. Я. 155
Семенченко-Доценко П. 45
Сизанкур (Sizancourt) 12, 17, 21
Сименс Ф. (Siemens F.) 60, 120, 323, 331
Смит (Smith) 120
Снелюс Г. (Snelus G.) 120, 175—177, 179—181, 350, 351
Совер А. (Sauveur A.) 138, 168
Сорби Г. (Sorby G.) 134, 258, 259
Стид (Stead) 167
Стругаль 275, 280

Тамм А. (Tamm A.) 175—177, 187
Тимирязев В. И. 253
Томлинсон 153
Туннер П. (Tunner P.) 189, 249

Уиндзор Ричардс (Windsor Richards) 120
Уолкер (Walker) 120
Ухацпус 321, 324

Фарадей М. (Faraday M.) 325
Фессенден 153
Физо 159
Форкиньон 278, 334
Франк (Franck) 259, 260
Фреми 31

Холл (Hall) 120
Хонд (Hond) 160
Хоу Г. (Howe H.) 120, 158
Хэд (Head) 120

Шинц 249
Шотт (Schott) 65
Штейнле 293

Эверт 229
Эврар 285, 286
Эггертц 184

Юз Д. (Hughes D.) 84, 116—118, 285
Юптнер Г. (Juptner H.) 168

Якимович 72
Яролимек 96

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции 7

I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

1. **Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету** 9
2. **Материалы для изучения стали и стальных орудий** 49
3. **Обобщение по поводу некоторых новых наблюдений при обработке стали** 60
4. **О приготовлении стальных бронепробивающих снарядов** 70
5. **О влиянии механической и термической обработки на свойства стали** 100
6. **О выгорании каналов в стальных орудиях** 119
7. **О точке *b* Чернова** 133
8. **Афоризмы из области металлургии стали** 138
9. **Письмо Д. К. Чернова редактору «Журнала Русского металлургического общества»** 155
10. **Из переписки Д. К. Чернова с профессором Е. Гейном** 166

II. МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

11. **Материалы для изучения бессемерования** 172
12. **Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок** 208
13. **О прямом получении литого железа и стали в доменной печи** 235
14. **О кристаллах алмаза и карборунда в стали** 254

15. III. «СТАЛЕЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО»

Определение стали, состав и свойства ее 263
Структура стали 265
Изменения, претерпеваемые свойствами стали под влиянием внешних причин (обработки) 271
Влияние нагревания стали в соединении с большею или меньшею скоростью охлаждения 271
Закалка стали 275
Отпускание стали 276
Явления, сопровождающие закалку и отпуск стали 278
Теплоломкость стали 282
Влияние закалки на плотность стали 283
Влияние закалки на магнитные свойства стали 284
Расширение стали под влиянием нагрева 285
Влияние различных способов обработки на механические качества стали. 287
Определение степени (температуры) нагрева стали 290

Механическая обработка без участия теплоты и действие повторительных усилий 294
Явления, сопровождающие обработку стали в холодном виде 299
Влияние некоторых металлоидов и металлов на свойства стали 305
Сорта стали 308
Способы приготовления стали 309
Сварочная сталь 309
Получение стали в расплавленном состоянии 317
Распознавание литого материала и сварочного 329
Плавка стали по поду пламенной печи 330
Получение стали децементацией (производство ковкого чугуна) 333
Отливка стали 336
Устройство больших изложниц 339
Структура литых стальных болванок 341
Ковка стальных болванок 352
Молота-прессы или жомы 356
Ход ковки пушечной болванки 360
Ковка орудийных колец 363
Отжигание стальных поковок 365
Приготовление цапфенного кольца 367
Некоторые специальные требования, относящиеся к орудийной стали 368
Выгорание в каналах орудий 370
Вставление труб в стволы орудий 373
Надевание колец 374
Современное состояние сталепушечного дела 375
Бронебойные снаряды 377
Броневая одежда судов 382
Сравнительная пробиваемость броневых плит 384

ПРИЛОЖЕНИЕ

А. С. Федоров. **Очерк жизни и деятельности Д. К. Чернова** 387
Библиография 415
Литература о Д. К. Чернове 421
Примечания 425
Именной указатель 443

Дмитрий Константинович Чернов

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ

Утверждено к печати
Редакционной коллегией серии «Классики науки»
Академии наук СССР

Редактор *И. П. Соловьева*
Редакторы издательства *М. С. Бучаченко*, *Н. Г. Явкина*
Художественный редактор *С. А. Литвак*
Технический редактор *Р. Г. Грузинова*
Корректоры *Н. М. Вселюбская*, *Р. З. Землянская*

ИБ № 24417

Сдано в набор 7.07.82.
Подписано к печати 10.12.82.
Формат $70 \times 90^1/_{16}$
Бумага типографская № 1
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 33. Усл. кр. отт. 35.3
Уч.-изд. л. 35,7. Тираж 1550 экз. Тип. зак. 1580.
Цена 5 р. 90 к.

Издательство «Наука»
117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая типография издательства «Наука»
199034, Ленинград, 9 линия, 12

Д. К. ЧЕРНОВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ



5 р. 30 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»